

HELSINGIN KAUPPAKORKEAKOULU  
Kansantaloustieteen laitos



LUONNONVAROJEN KOKONAISKÄYTTÖ JA DEMATERIALISAATIO SUOMESSA

HELSINGIN  
KAUPPAKORKEAKOULUN  
KIRJASTO

10166

Kansantaloustieteen  
pro gradu -tutkielma  
Anna Heinonen  
Kevät 2006

KANSANTALOUSTIETEEN

laitoksen johtajan päätöksellä 24 / 5 2006 hyväksytty

arvosanalla HYVÄ (70p.)

PROF. JUUSO VÄLIMÄKI

PROF. PERTTI HAAPARANTA

## **LUONNONVAROJEN KOKONAISKÄYTTÖ JA DEMATERIALISAATIO SUOMESSA**

### **Tutkimuksen tavoite**

Tutkielman tavoitteena on ollut tarkastella Suomen luonnonvarojen käytön muutoksia, rakennetta ja käyttöön vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi on tutkittu, onko Suomessa tapahtunut dematerialisaatiota sekä miten hyvin luonnonvarojen kokonaiskäyttö (Total Material Requirement, TMR) soveltuu kansantalouden dematerialisaation ja yleisen ympäristörasituksen mittaamiseen.

### **Aineisto ja aineiston käsittely**

Tutkimuksen lähdeaineiston muodostavat Suomen luonnonvarojen käytöstä aiemmin tehdyt tutkimukset sekä koti- ja ulkomainen kirjallisuus. Tutkimusmenetelmänä on käytetty olemassa olevan tutkimustiedon ja tilastojen uudelleen ryhmittelyä sekä niiden analyysiä. Kirjallisuuden perusteella on muodostettu luonnonvarojen käytön ja kestävä kehityksen teoreettinen viitekehys.

### **Tulokset**

Suomen luonnonvarojen käyttö on lähes kaksinkertaistunut vuosina 1960–2000. Erityisesti piilovirrat ja tuonnin ainevirrat ovat lisääntyneet. Tutkimukset antavat toisistaan poikkeavan kuvan luonnonvarojen käytön määrästä tonneissa mitattuna, mutta ne kuvaavat yhteneväisesti suhteellisia muutoksia. Suomen talouskasvu on ollut luonnonvarojen käytön kasvua nopeampaa, mikä on merkki suhteellisesta dematerialisaatiosta. Absoluuttista dematerialisaatiota ei ole kuitenkaan tapahtunut. TMR on varteenotettava dematerialisaation indikaattori. Se ei kuitenkaan sovellu yleisen ympäristörasituksen mittaamiseen, sillä se ei ota huomioon ainevirtojen ympäristövaikutuksia.

### **Avainsanat**

Kestävä kehitys, luonnonvarat, ainevirtatilinpito, luonnonvarojen kokonaiskäyttö, Total Material Requirement, dematerialisaatio, materiaali-intensiteetti



## SISÄLLYS

1.	JOHDANTO.....	4
1.1.	Tutkielman tausta .....	4
1.2.	Tutkielman tavoite, rajausta ja tutkimusmenetelmä.....	6
1.3.	Tutkielman rakenne .....	7
2.	YMPÄRISTÖ IHMISEN TOIMINNAN JA TALOUDEN PERUSTANA .....	8
2.1.	Ympäristön tehtävät .....	9
2.1.1.	Elämää ylläpitävä järjestelmä.....	9
2.1.2.	Luonnonvarojen tarjoaja .....	9
2.1.3.	Jätteiden vastaanottaja ja käsittelijä .....	11
2.2.	Luonnonvarojen käytön ympäristöongelmat.....	12
3.	KESTÄVÄ KEHITYS .....	16
3.1.	Kansainvälisen ympäristöyhteistyön kehitys .....	16
3.2.	Kestävän kehityksen määritelmä.....	18
3.3.	Kestävän kehityksen osa-alueet .....	20
3.4.	Uusklassinen vs. ekologinen kestävä kehitys.....	22
3.4.1.	Pääomalajit .....	22
3.4.2.	Uusklassinen eli heikko kestävä kehitys .....	24
3.4.3.	Ekologinen eli vahva kestävä kehitys .....	25
3.4.4.	Näkemyserot luonnonvarojen korvattavuudesta .....	27
3.5.	Kestävä kehitys vs. kestävä kasvu.....	29
4.	TALOUSKASVUN JA LUONNONVAROJEN KÄYTÖN IRTIKYTKENTÄ.....	31
4.1.	Dematerialisaatio ja ekotehokkuus.....	32
4.2.	Yhteiskunnallinen termodynamiikka .....	36
4.2.1.	Termodynamiikan pääsäännöt.....	36
4.2.2.	Talouden suljettu ainekierto .....	37
5.	AINEVIRTATILINPITO .....	39
5.1.	Ainevirtatilinpidon määritelmä .....	39
5.2.	Ainevirtojen jaottelu ja tilinpidon menetelmät.....	42
5.3.	Ainevirtaindikaattorit dematerialisaation mittarina .....	49
5.3.1.	Luonnonvarojen kokonaiskäyttö TMR .....	49
5.3.2.	Materiaali-intensiteetti .....	52
5.4.	Ainevirtojen ympäristövaikutukset ja massa mittayksikkönä.....	54

6.	SUOMEN LUONNONVAROJEN KOKONAISKÄYTTÖ.....	60
6.1.	Analyysin tavoitteet ja tutkimusaineisto .....	60
6.2.	Suorat aineelliset panokset .....	61
6.3.	Piilovirrat.....	70
6.3.1.	Piilovirtojen laskeminen.....	70
6.3.2.	Suomen piilovirrat.....	74
6.4.	Tuonnin ja viennin ainevirrat .....	79
6.5.	Suomen luonnonvarojen kokonaiskäyttö .....	82
6.6.	Suomen materiaali-intensiteetti.....	85
6.7.	Luonnonvarojen kokonaiskäyttö päästökehitykseen verrattuna .....	88
7.	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	91
	LÄHTEET .....	95

## LIITELUETTELO

Liite 1	Ympäristövaikutusanalyysi: Suomen metsäteollisuus.....	102
Liite 2	Materiaalien käyttö 1960–1990 .....	103
Liite 3	Primäärimateriaalien kokonaiskulutus Suomessa 1960–2000.....	104
Liite 4	Suorat panokset 1970–1999.....	105
Liite 5	Piilovirrat 1970–1999 .....	106
Liite 6	Luonnonvarojen kokonaiskäyttö 1970–1999 .....	107
Liite 7	Materiaalien käyttö 1980–2004 .....	108
Liite 8	Materiaalien käytön rakenne.....	109

## KUVIOLUETTELO

Kuvio 1	Tutkielman rakenne.....	8
Kuvio 2	Kestävän kehityksen ulottuvuudet .....	20
Kuvio 3	Kestävän kehityksen semantiikka .....	30
Kuvio 4	Materiaalien suljettu kierto ja ainevirtatilinpidon kuvausalueet .....	40
Kuvio 5	Maailman ositus ainevirtatilinpidossa .....	41
Kuvio 6	Kansantalouden ainetase .....	47
Kuvio 7	Materiaalien kiinnostavuus materiaalivirtatilinpidon laadinnan kannalta .....	55
Kuvio 8	Eri tutkimusten arviot luonnonvarojen käytöstä Suomessa 1960–2004 .....	62
Kuvio 9	Suorat panokset materiaalityypeittäin vuonna 1990.....	64
Kuvio 10	Rakentamisen maa-ainesten / soran käyttö 1960–2000 .....	65
Kuvio 11	Puun käyttö 1960–2000.....	66
Kuvio 12	Mineraalien käyttö 1960–2000.....	67
Kuvio 13	Suorien panosten rakenne 1970–1999.....	68

Kuvio 14	Materiaalien käytön jakaumat vuonna 1990 määrän ja arvon perusteella .....	68
Kuvio 15	Piilovirtojen arvioihin luonnonvarojen kokonaiskäytöstä 1960–2000.....	75
Kuvio 16	Piilovirrat ja suorat panokset materiaaliryhmittäin vuonna 1990 .....	76
Kuvio 17	Piilovirtojen rakenne 1970–1999 .....	76
Kuvio 18	Kotimaisten ja tuonnin ainevirtojen suhde vuonna 1999.....	78
Kuvio 19	Piilovirtojen ja suorien panosten suhde vuonna 1999.....	78
Kuvio 20	Kotimaisten ja tuonnin osuus TMR:stä 1970–1999.....	80
Kuvio 21	Viennin osuus materiaaliryhmien loppukäytöstä vuonna 1995 .....	81
Kuvio 22	Suomen luonnonvarojen kokonaiskäyttö (TMR) 1970–99.....	83
Kuvio 23	Luonnonvarojen kokonaiskäytön rakenne materiaaliryhmittäin.....	84
Kuvio 24	TMR/BKT ja DMI/BKT 1970–1999 .....	86
Kuvio 25	TMR, DMI ja BKT indeksikehitys 1970–1999 .....	87
Kuvio 26	Ekotehokkuuden BKT/TMR ja BKT/DMI indeksikehitys .....	89
Kuvio 27	Materiaalien käyttö 1960–1991.....	109
Kuvio 28	Primäärimateriaalien kokonaiskulutus 1960–2000 .....	109

## TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1	Ainevirta-analyysin lähestymistapoja.....	44
Taulukko 2	Talouden luonnonvarojen käytön panosindikaattorit.....	50
Taulukko 3	Materiaalivirta-analyysin välineitä .....	51
Taulukko 4	Eri tutkimusten arviot luonnonvarojen käytöstä Suomessa, miljoonaa tonnia .....	63
Taulukko 5	Tuontituotteiden piilovirtakertoimia, tonnia tuotetonna kohti.....	71
Taulukko 6	Luonnonvarojen kokonaiskäytön pääryhmien kehitys Suomessa .....	83
Taulukko 7	Luonnonvarojen kokonaiskäyttö materiaaliryhmittäin .....	84



# 1. JOHDANTO

## 1.1. Tutkielman tausta

Kestävän kehityksen tavoitteena on muuttaa talouskasvua vähemmän luonnonvaroja kuluttavaksi ja suojella ympäristöä. Uusiutumattomien luonnonvarojen rajallisuus on ajankohtainen. Esimerkiksi öljyn hinnan nousu on osoittanut, kuinka riippuvaisia taloudet ovat fossiilisista polttoaineista. Öljyn hinnan nousun pelätään hidastavan talouskasvua maailmanlaajuisesti. Myös ilmaston muutoksella on taloudelliset vaikutuksensa. Tästä esimerkkinä ovat päästökauppa ja luonnonkatastrofien aiheuttamat taloudelliset vahingot.

Talouden kasvu on lisännyt luonnonvarojen käyttöä ja ympäristörasitusta (Hoffrén 2001, 31). Kun aineellista tuotantoa lisätään ihmisten hyvinvoinnin parantamiseksi, lisätään samanaikaisesti hyvinvoinnille haitallisia päästöjä ja jätteitä (Hoffrén 1999, 33). Luonnonvarojen kulutusta mittaamalla voidaan arvioida, onko talouskasvu kestäväällä pohjalla ja onko kasvun ja luonnonvarojen kulutuksen välillä tapahtunut irtikytkentää (decoupling). Sillä tarkoitetaan ”kehitystä, jossa talous kasvaa, mutta luonnonvarojen kulutus ja päästöt samaan aikaan vähenevät” (Rissa 2001, 34). Luonnonvarojen kokonaiskäytön vähenemistä sanotaan absoluuttiseksi dematerialisaatioksi. Suhteellinen dematerialisaatio taas tarkoittaa luonnonvarojen käytön tehokkuuden paranemista suhteessa talouden kehitykseen. (Heiskanen ym. 2001, 31) Tätä voidaan mitata materiaali-intensiteetillä, luonnonvarojen käytön suhteena bruttokansantuotteeseen (Adriaanse ym. 1997, 2).

Luonnonvarojen käyttöä tarkastellaan nykyään eri näkökulmasta kuin vielä pari vuosikymmentä sitten. Aiemmin oltiin kiinnostuneita lähinnä siitä, riittävätkö luonnonvarat ihmisten kasvavien tarpeiden tyydyttämiseen. Nykyään keskitytään entistä enemmän paitsi päästöjen ja jätteiden ympäristövaikutuksiin myös luonnonvarojen kokonaiskäyttöön ja tuotannon materiaalitehokkuuteen. (Jalas 2001a, 39) Luonnonvarojen kokonaiskäytön tarkastelu lähestyy talouden ympäristövaikutuksia holistisesta näkökulmasta. Koska monien toimintojen ja aineiden haitallisuutta ei voida varmasti osoittaa, on ns. varovaisuusperiaatteen mukaisesti järkevää minimoida kaikkia talouden ainevirtoja. (Heiskanen ym. 2001, 8)



Kansantalouden tilinpito mittaa talouden toimintaa rahavirtojen perusteella. Bruttokansantuote on tilinpidon tärkein indikaattori ja kansainvälisissä vertailuissa käytetty tunnusluku. Rahamääräisen tilinpidon avulla ei ole kuitenkaan mahdollista analysoida talouden eri toimintojen aiheuttamaa ympäristörasitusta. Tilinpidossa ei esimerkiksi oteta huomioon sellaista luonnonvarojen käyttöä, jolla ei ole taloudellista arvoa. Se ei myöskään mittaa viennin ja tuonnin välillisiä ympäristövaikutuksia. (Adriaanse ym. 1997, 1) Rahamääräisen tilinpidon rinnalle onkin pyritty kehittämään menetelmiä, joilla voitaisiin kuvata ja analysoida luonnonvarojen käyttöä kansantaloudessa. Fyysisiä ainevirtoja mittaava ainevirtatilinpito tarjoaa tietoa talouden aineperustasta (Jalas 2001a, 41).

Ainevirtatilinpito on talouden luonnonvarojen käytön mittaamiseen ja analysointiin kehitetty menetelmä (Muukkonen 2000). Ainevirta syntyy, kun ihminen ottaa luonnosta aineita, jotka lopulta käytön jälkeen päätyvät takaisin luontoon. Ainevirtatilinpidon perusajatuksena on, että talouden aiheuttama ympäristörasitus johtuu talouden läpi virtaavan aineen määrästä. Ainevirtatilinpidolla kerätyn aineiston avulla voidaan lisätä ymmärrystä kestävästä kehityksestä moniulotteisena, useiden tekijöiden muutosprosessina. Suomessa luonnonvaroja ja ympäristöä kuvaavaa luonnonvaratilinpitoa alettiin kehittää vuonna 1983 (Muukkonen 1990, 3, 101). Viime vuosina kansantalouden ainevirtatilinpitoa on kehitetty erityisesti Oulun yliopiston Thule-instituutissa.

Kansantalouden luonnonvarojen käytön indikaattoriksi on kehitetty luonnonvarojen kokonaiskäyttö (Total Material Requirement, TMR). Se mittaa talouden suoria aineellisia panoksia ja välillistä luonnonvarojen käyttöä eli piilovirtoja. TMR sisältää seuraavat pääerät: kotimaiset suorat panokset, kotimaiset piilovirratt, tuonnin suorat panokset ja tuonnin piilovirratt. (Mäenpää ym. 2000, 9)

## 1.2. Tutkielman tavoite, rajaus ja tutkimusmenetelmä

Tutkielman tavoitteena on tutkia Suomen luonnonvarojen käytön muutoksia, rakennetta ja käyttöön vaikuttavia tekijöitä. Tutkielmalla pyritään vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

1. Miten luonnonvarojen käyttö on kehittynyt Suomessa 1960-luvulta 2000-luvulle?
2. Mitkä tekijät ovat vaikuttaneet luonnonvarojen käytön kehitykseen?
3. Onko Suomessa tapahtunut absoluuttista tai suhteellista dematerialisaatiota?
4. Miten hyvin TMR soveltuu kansantalouden dematerialisaation ja yleisen ympäristörasituksen mittaamiseen?

Suomen luonnonvarojen käyttöä on mitattu monessa tutkimuksessa (Mäkelä 1985, Laine 1994, Hoffrén 2001, Mäenpää ym. 2000), mutta niiden tuloksia ei ole aiemmin verrattu keskenään. Tarkastelen tässä tutkielmassa, millaisen kuvan tutkimukset antavat luonnonvarojen käytöstä. Analysoin luonnonvarojen käyttöä Suomessa aineistoa yhdistelemällä. Useamman tutkimuksen tuloksia vertailemalla saadaan paremmin esiin kokonaiskuva kuin jos paneuduttaisiin vain yhteen tutkimusaineistoon.

TMR muodostaa analyysin tarkastelukehikon. Tutkin erikseen TMR:n osa-alueita: suoria aineellisia panoksia, talouden piilovirtoja sekä tuonnin ja viennin ainevirtoja. Lisäksi arvioin Suomen materiaali-intensiteettiä, eli sitä, miten luonnonvarojen käyttö on kehittynyt bruttokansantuotteeseen nähden. Analysoin myös, miten hyvin TMR soveltuu dematerialisaation indikaattoriksi. Koska TMR-käsitettä pidetään usein yleisen ympäristörasituksen indikaattorina, vertaan Suomen luonnonvarojen käytön kehitystä päästöihin yhden tutkimusaineiston (Dahlbo ym. 2003) perusteella.

Tutkielma käsittelee luonnonvarojen käyttöön liittyvää käsitteistöä ja teorian kehitystä kirjallisuuden pohjalta. Teoreettisen viitekehyksen muodostaa kestävä kehitys. Tarkastelen uusklassisen ja ekologisen taloustieteen tulkintaeroja kestävästä kehityksestä luonnonpääoman suhteen. Dematerialisaatio on yksi kestävään kehitykseen liittyvistä tavoitteista, jossa yhdistyvät

taloudellinen ja ekologinen kestävä kehitys. Yhteiskunnallinen termodynamiikka muodostaa ainevirtatilinpidon teoriaperustan.

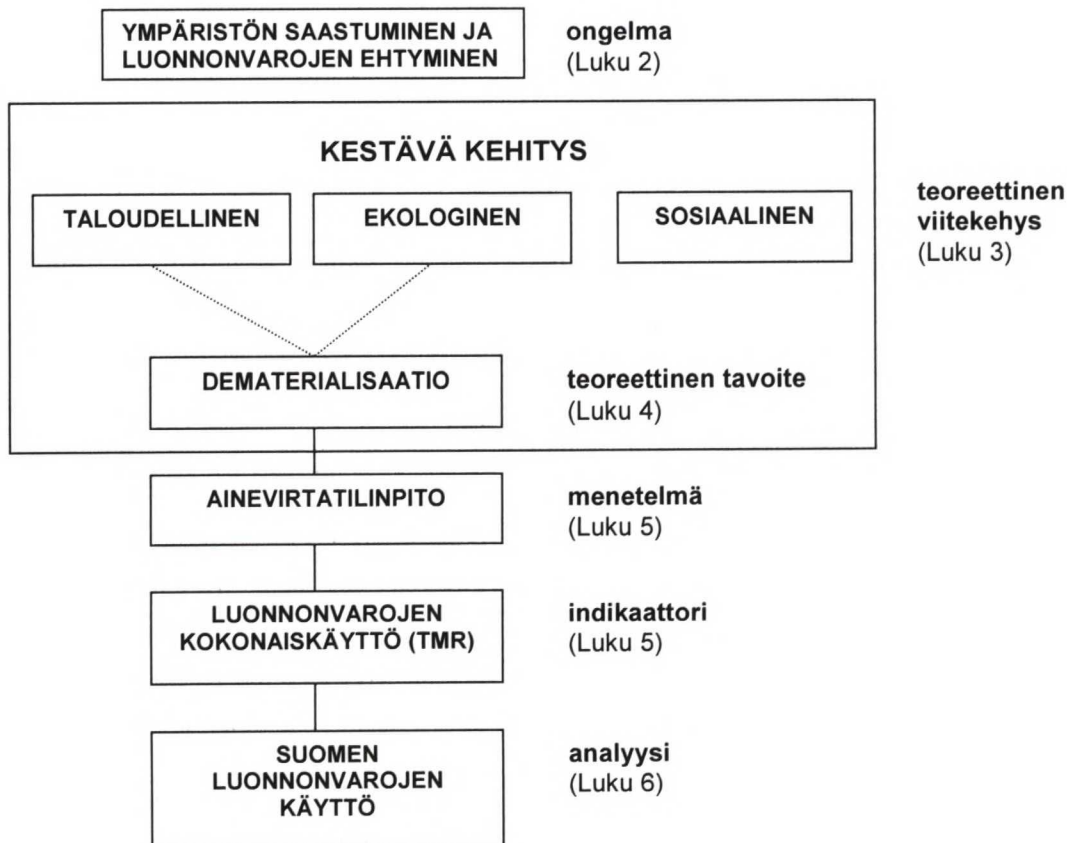
Olen rajannut tutkielman käsittelemään Suomen luonnonvarojen käyttöä ja dematerialisaatiota makrotaloudellisesta näkökulmasta. Tutkielma painottuu kansantalouden panosindikaattoreihin. Tutkimusmenetelmänä käytän olemassa olevan tutkimustiedon ja tilastojen uudelleen ryhmittelyä sekä niiden analyysiä. Tutkimusaineiston aikasarjat ajoittuvat 1960-luvulta 2000-luvun alkuun.

### 1.3. Tutkielman rakenne

Luvut 2-4 muodostavat teoreettisen viitekehyksen tutkielmalle. **Luvussa 2** tutustutaan ympäristön tehtäviin ihmisen elinympäristönä ja erityisesti talouden toiminnan perustana. Luonnonvarojen käytön ympäristöongelmat – luonnonvarojen ehtyminen ja saastuminen – muodostavat tutkielman motivoiva ongelman. **Luku 3** käsittelee kestävää kehitystä. Kestävä kehitys toimii tutkielman taustateorianä ja ajatusmallina, jolla pyritään löytämään ratkaisuja muun muassa luonnonvarojen käytön ympäristöongelmiin. Kestävän kehityksen yhteys luonnonvarojen käyttöön tarkentuu, kun tarkastellaan erilaisia tulkintoja kestävästä kehityksestä. Tutkielma keskittyy ekologiseen ja taloudelliseen kestävyyteen, joiden yhteisenä tavoitteena on talouskasvun ja luonnonvarojen käytön irtikytkeä. Irtikytkeä ja siihen liittyvää dematerialisaatiota eli luonnonvarojen käytön vähentämistä tarkastellaan **luvussa 4**. Lisäksi luvussa esitetään yhteiskunnallisen termodynamiikan teorian perusteet, jotka luovat pohjan ainevirtatilinpidolle.

**Luku 5** käsittelee ainevirtatilinpidon talouden ainevirtoja mittaavana menetelmänä. Ainevirtatilinpidolla voidaan tarkastella sekä talouden käyttöön otettuja luonnonvarapanoksia että ihmisen toiminnan aiheuttamia päästöjä ympäristöön. Lisäksi esitellään luonnonvarojen kokonaiskäytön (TMR) indikaattori sekä materiaali-intensiteetin käsite. **Luvussa 6** analysoidaan Suomen luonnonvarojen käyttöä kokoamalla yhteen aikaisempien tutkimusten tuloksia. Luonnonvarojen käyttöä arvioidaan erityisesti TMR-indikaattorin näkökulmasta. Tutkielman yhteenveto ja johtopäätökset esitetään **luvussa 7**. Tutkielman rakenne on esitetty kuviossa 1.





**Kuvio 1 Tutkielman rakenne**

## 2. YMPÄRISTÖ IHMISEN TOIMINNAN JA TALOUDEN PERUSTANA

Talouden toimintaa tarkastellaan yleensä erillään luonnonympäristöstä, vaikka talous on riippuvainen ympäristöstä ja sen tarjoamista luonnonvaroista. Lisäksi taloudellisella toiminnalla on ympäristövaikutuksia, jotka voivat ympäristön tilaa heikentämällä huonontaa myös talouden suorituskykyä. (Pearce ym. 1989, 4)

Tässä luvussa käsitellään ympäristön merkitystä ihmisen toiminnan ja talousjärjestelmän toimivuuden kannalta. Ensin tarkastellaan ympäristön tehtäviä ja luokitellaan luonnonvarat uusiutuviin ja uusiutumattomiin sekä määritellään luonnon kantokyvyn käsite. Tämän pohjalta tarkastellaan luonnonvarojen käyttöön liittyviä ympäristöongelmia.



## **2.1. Ympäristön tehtävät**

Luonnonympäristö käsittää maaperän sekä vesi- ja ilmakehän kasveineen ja eläimineen. Luonnolla on kolme taloudellista, ihmisen toiminnan kannalta oleellista tehtävää: se (1) ylläpitää elämää ja on sellaisenaan hyödyn lähde, (2) tarjoaa luonnonvaroja eli resursseja sekä (3) toimii jätteiden loppusijoituspaikkana. (Pearce & Turner 1990, 41) Luonnonympäristö tarjoaa näin ollen välttämättömän infrastruktuurin ihmisen ja talouden toiminnalle (James ym. 1989, 28).

### ***2.1.1. Elämää ylläpitävä järjestelmä***

Luonnonympäristö mahdollistaa elämän maapallolla. Tämä on luonnon tärkein tehtävä. Luonto tarjoaa elämää ylläpitäviä palveluita, joihin kuuluvat muun muassa auringon säteilyltä suojaava otsonikerros, puhdas ilma, lajien monimuotoisuus, metsien kyky ehkäistä eroosiota ja ekosysteemien kyky estää luonnonkatastrofeja. Nämä kaikki toiminnot lisäävät suoraan ihmisten hyvinvointia. (Pearce & Turner 1990, 41) Lisäksi luonto tarjoaa paikallisia hyödyn lähteitä esimerkiksi luonnonmaiseman kauneusarvon ja luonnonalueiden virkistyskäytön kautta (Mäkelä 1985, 1).

### ***2.1.2. Luonnonvarojen tarjoaja***

Taloudellinen toiminta perustuu ympäristöstä otettujen luonnonvarojen hyödyntämiseen. Kaikki tuotannossa ja palveluissa käytettävät raaka-aineet ja energia ovat peräisin luonnosta. Vaikka luonnonvaroilla viitataan usein vain talouden kannalta hyödyllisiin aineisiin, luonnonvaroilla voidaan tarkoittaa laajemmin ”koko luontoa hyödyllisten aineiden ja käyttöjen lähteenä” (Mäenpää ym. 2000, 7). Luonnonvaroja ovat pellot, metsät, luonnonsuojelu- ja ulkoilualueet, kalastusalueet, mineraalivarat, uusiutuvat energianlähteet ja vesivarat (Mäkelä 1985, 1).

Luonnonvarat jaetaan tavallisesti uusiutuviin ja uusiutumattomiin sen mukaan, miten hidas niiden luonnollinen muodostumisprosessi on tai miten niiden nykyinen käyttö vaikuttaa saatavuuteen tulevaisuudessa (Perman ym. 1999, 18):

- **Uusiutuvia luonnonvaroja** syntyy luonnossa jatkuvasti lisää, vaikka uusiutumismuutos voikin vaihdella. Uusiutuvat luonnonvarat ovat tavallisesti eloperäisiä, kuten metsät, kasvisto ja eläimistö. Uusiutuvia energianlähteitä ovat elottoman luonnon toistuvat virtailut ja säteily, kuten aurinkoenergia, tuuli- ja vesivoima (Mäkelä 1985, 1). Uusiutuvat luonnonvarat ovat ehtymättömiä vain, jos niiden kulutus ei ylitä varannon uusiutumismuutosta. Uusiutumismuutoksen mukaista kulutustasoa kutsutaan **kestäväksi tuotoksi** (sustainable yield). Kestävän tuoton ylittävä kulutus pienentää varantoa, koska luonnollinen uusiutuminen ei ehdi korvata liikkakäyttöä. Esimerkiksi monet kalakannat ovat ehtyneet, kun kalastus on ylittänyt niiden kasvumuutoksen. (Pearce & Turner 1990, 39; Perman ym. 1999, 19)
- **Uusiutumattomat luonnonvarat** ovat epäorgaanisia mineraaleja – kuten rauta ja muut malmit – ja orgaanisia fossiilisia polttoaineita – kuten kivihiili, öljy ja maakaasu. Ne ovat muodostuneet maapallon pitkän geologisen historian aikana ja niiden uusiutuminen on niin hidasta, ettei sillä ole merkitystä ihmiskunnan tulevaisuuden kannalta. Mitä enemmän uusiutumattomia luonnonvaroja käytetään, sitä vähemmän niitä on kulutettavissa tulevaisuudessa. (Perman ym. 1999, 19) Uusiutumattomat luonnonvarat voidaan jakaa kertakäyttöisiin (fossiiliset polttoaineet) ja palautettaviin (metallit) (Mäkelä 1985, 1). Fossiilisten polttoaineiden polttaminen on peruuttamaton prosessi, jonka jälkeen niitä ei enää saada takaisin alkuperäiseen olomuotoonsa. Tuotannossa käytettyjä mineraaleja sen sijaan voidaan käyttää uudelleen myös ensimmäisen käyttökerran jälkeen, joten mineraalien ehtymistä voidaan viivästyttää kierrätyksen avulla. (Perman ym. 1999, 19)

Luonnonvaroja voidaan kuluttaa suoraan sellaisenaan (esimerkiksi kalakannat) tai välillisesti talouden tuotantopanoksina (öljy ja maakaasu, monet ekosysteemin palvelut) (Dasgupta 2001, 124). Luonnonvarat voidaan nimetä talouden ainekierron eri vaiheiden mukaan. Luonnonvarasta tulee resurssi eli voimavara, kun sille keksitään jokin käyttötarkoitus. Raaka-aineet ovat talouden käyttöön otettavia luonnonvaroja, joiden hyödyntämiseen tarvittava tekniikka on jo olemassa. Raaka-aine muuttuu tuotantoprosessissa tuotteen ainesosaksi, ja kun tuotetta lakataan

käyttämästä, tuotteen ainesosasta tulee jätettä. (Muukkonen 1990, 53; Mäenpää 2005, 11) Luonnonvarojen synonyyminä puhutaan myös materiaaleista tai aineista, vaikka materiaali voi suomenkielessä tarkoittaa harhaanjohtavasti sekä luonnonaineksia että jalostettuja aineksia (Mäenpää ym. 2000, 7). Yleensä materiaaleilla tarkoitetaan luonnosta saatavia raaka-aineita.

### ***2.1.3. Jätteiden vastaanottaja ja käsittelijä***

Ympäristö toimii ihmisen tuottamien jätteiden ja päästöjen loppusijoituspaikkana. Päästöjä syntyy niin luonnonvarojen käyttöönotossa, tuotannossa kuin loppukulutuksessakin. Hiili- ja rikkidioksidi kulkeutuvat ilmakehään, otsonikerrokselle haitalliset CFC-yhdisteet stratosfääriin, teolliset ja kunnalliset jätevedet vesistöihin, kiinteä jäte kaatopaikalle jne. Myös luonnossa syntyy jätteitä (puiden tiputtamat lehdet), mutta toisin kuin talousjärjestelmä luonto kierrättää synnyttämänsä jätteet. Taloudella sen sijaan ei ole sisäänrakennettua kierrätysjärjestelmää, vaan tuotannon eri vaiheissa syntyneet jätteet päätyvät ympäristöön. (Pearce & Turner 1990, 39–41)

Luonnon kykyä vastaanottaa päästöjä ja jätteitä ja muuttaa ne haitattomiksi tai ekologisesti hyödyllisiksi tuotteiksi kutsutaan **assimilaatiokapasiteetiksi** (assimilative capacity) (Pearce & Turner 1990, 39). Assimilaatiokapasiteetti voi ylittyä, jos jätteitä joutuu luontoon enemmän kuin mitä ekosysteemit pystyvät käsittelemään. Esimerkiksi vesistöihin joutuneita päästöjä hajottavat pääasiassa bakteerit. Jos saasteiden määrä ylittää bakteerien toiminnan kriittisen rajan, tämä biologinen hajottamisprosessi häiriintyy eikä kykene käsittelemään päästöjä. Pahimmassa tapauksessa tällainen assimilatiokapasiteetin ylittyminen voi hävittää koko vesistön eliöstön. (Perman ym. 1999, 270)

Assimilaatiokapasiteetti liittyy **luonnon kantokyvyn** (carrying capacity) käsitteeseen, jolla tarkoitetaan biologiassa jonkin alueen kykyä elättää tietyn suuruinen populaatio. Kantokyvyn ylärajalla populaatio on saavuttanut maksimaalisen tason. Mikäli tämä taso ylittyy, ekosysteemin toiminta häiriintyy ja lajin elinmahdollisuudet vaarantuvat. (Atkinson ym. 1997, 120) Maapallon kantokyvyllä havainnollistetaan ihmisen toiminnan haitallisia ympäristövaikutuksia, jotka saattavat vaarantaa kasvavan väestön elinmahdollisuudet. Kantokykyyn vaikuttavat paitsi ihmisväestön koko myös taloudellisen toiminnan taso ja teknologisen kehityksen tuomat



mahdollisuudet. Luonnon kantokykyä ei ole pystytty luotettavasti selvittämään, eikä siis tiedetä, kuinka paljon saasteita ja jätteitä luonto pystyy käsittelemään (Hoffrén 1999, 33). Lisäksi talouden tuotanto- ja kulutusrakenteet vaihtelevat, mikä tekee globaalin kantokyvyn selvittämisen entistä vaikeammaksi. (Atkinson ym. 1997, 120) Arrow ym. (1995) painottavat luonnon kantokyvyn olevan niin dynaaminen ja monimutkainen käsite, ettei sitä voida mitata yksinkertaisella indikaattorilla, varsinkaan kun innovaatioiden ja biologisen evoluution vaikutukset eivät ole ennakoitavissa.

## **2.2. Luonnonvarojen käytön ympäristöongelmat**

Luonnonvarojen käytön ympäristöongelmat voidaan jakaa kahteen kategoriaan. Ensinnäkin luonnonvarojen käytön kasvun on pelätty johtavan luonnonvarojen ehtymiseen. Erityisesti uusiutumattomien luonnonvarojen niukkuutta on tutkittu paljon talouskasvun rajoitteena. Toinen ongelma liittyy saastumiseen eli luonnonvarojen käytöstä syntyviin päästöihin ja jätteisiin sekä niiden haitallisiin ympäristövaikutuksiin.

Ensimmäiset pessimistiset ennusteet luonnonvarojen niukkuuden aiheuttamista rajoitteista pitkäaikaiselle talouskasvulle esitettiin jo 1700-luvun lopussa. Malthus (1790) ennusti vuonna 1798, että väestönkasvu pysähtyy viljelymaan ehtyessä. Hänen mukaansa kaikki viljelymaa on tasalaatuista ja sitä on käytettävissä rajallinen määrä. Ruoantuotanto henkeä kohti vähenee väistämättä väestön kasvaessa, kun kaikki viljelymaa on otettu käyttöön. Se johtaa elintason putoamiseen ja väestönkasvun pysähtymiseen. Malthusin periaatetta kutsutaan absoluuttisen niukkuuden teoriaksi eli luonnonvaroja on kaiken kaikkiaan käytettävissä vain rajallinen määrä. (Hoffrén 1994, 22; Pearce & Turner 1990, 6–7)

Vuonna 1817 ilmestyneessä Ricardon (1826) suhteellisen niukkuuden teoriassa ruoantuotannon kasvua uhkaa absoluuttisen niukkuuden sijasta luonnonvarojen suhteellisen niukkuus. Erona Malthusin teoriaan käytettävissä olevan viljelymaan laatu vaihtelee. Väestön kasvaessa on siirryttävä entistä vähätuottoisemman maan viljelyyn ruoantuotannon lisäämiseksi. Maan hankintakustannukset nousevat viljelymaan ehtymisen myötä, joten hintamekanismi suojaa yhteiskuntaa luonnonvarojen ehtymiseltä (Hoffrén 1994, 22). Teknologiset innovaatiot voivat



lisätä tuottavuutta, mutta ne eivät kokonaan estä huonosta maaperästä johtuvia väheneviä tuottoja. (Pearce & Turner 1990, 6–7)

Siinä missä malthusilainen absoluuttinen niukkuus johtaa luonnonvarojen (viljelymaan) lopulliseen ehtymiseen, ricardolainen suhteellinen niukkuus viittaa periaatteessa rajattomiin kokonaisluonnonvaroihin, joiden laatu kuitenkin vaihtelee (Daly 1992, 39–40). Malthusilaiset opit olivat pinnalla 1800-luvun puolivälissä ja etenkin lamavuosina 1900-luvun alussa. Ympäristötietoisuuden lisääntyessä 1960- ja 1970-luvuilla alkoi syntyä uusia talouskasvua kritisoivia ideologioita, jotka kyseenalaistivat kasvun jatkumisen pitkällä aikavälillä. (Moll 1991, 125)

Malthusilaiset ajatukset luonnonvarojen niukkuudesta nousivat puheenaiheeksi vuonna 1972, kun Rooman klubi<sup>1</sup> julkaisi laajaa huomiota saaneen Kasvun rajat -raportin (Meadows ym. 1973). Sen mukaan luonnonvarojen käytölle on olemassa absoluuttiset rajat (Moll 1991, 125–129). Kasvun rajat perustui Massachusetts Institute of Technology (MIT) -korkeakoulun systeemidynamiikan tietokonemalliin ihmiskunnan olemassaolon vaarantavista tekijöistä, joita ovat

- nopea väestönkasvu,
- ruoantuotannon ongelmat ja aliravitsemus,
- kiihtyvä teollistuminen,
- uusiutumattomien luonnonvarojen väheneminen sekä
- saastuminen.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää näiden kriittisten tekijöiden välisiä vuorovaikutuksia ja erilaisia tulevaisuuden skenaarioita. (Meadows ym. 1973, 23, 27–28) Erityisesti painotettiin kriittisten tekijöiden eksponentiaalista kasvuvauhtia.

Rooman klubi halusi raportillaan kiinnittää huomiota siihen, että talouden ja väestön kasvu eivät voi jatkua loputtomasti ja että kehitystä pitäisi tarkastella maailmanlaajuisesta ja monitieteellisestä näkökulmasta (Moll 1991, 102). Raportti loi hyvin synkän kuvan tulevaisuudesta: ”Jos maapallon väkiluvun, teollistumisen, ympäristön saastumisen,

---

<sup>1</sup> Vuonna 1968 perustettu Rooman klubi on kansainvälinen tutkijoiden, taloustieteilijöiden, valtiomiesten ja yritysmaailman edustajien ryhmä, jonka tavoitteena on tuoda esiin maailmanlaajuisia ongelmia ja vauhdittaa niiden ratkaisemista. (ks. Moll 1991)

ravinnontuotannon ja luonnonvarojen riiston nykyinen kasvuvauhti muutoksitta jatkuu, kasvun rajat saavutetaan lähimmän sadan vuoden kuluessa. Todennäköisin seuraus on sekä väkiluvun että teollisuustuotannon äkillinen ja kontrolloimattomissa oleva romahdus.” (Meadows ym. 1973, 26) Kasvun pysäyttäisivät joko luonnonvarojen ehtyminen, saastuminen tai ravinnon loppuminen. Teknologisella kehityksellä ei voida estää kasvun pysähtymistä. (Mt. 143–144)

Kasvun rajat -tutkimus sai osakseen laajaa kritiikkiä (esim. Cole ym. 1973). Maailmanmallissa ei otettu huomioon esimerkiksi kehityseroja teollisuus- ja kehitysmaiden tai kaupunkien ja maaseudun välillä. Maailman väestön ominaisuuksina käytettiin tilastollisia keskiarvoja. Kaikkia saastetyyppejä kuvattiin vain yhdellä saasteparametrillä. Resurssit-parametri tarkoitti kaikkien uusiutumattomien luonnonvarojen yhdistelmää. Lisäksi mallissa oletettiin, että sosiaalisessa, poliittisessa, teknisessä tai taloudellisessa kehityksessä ei tapahdu niin suuria rakenteellisia muutoksia, että ne muuttaisivat parametrien arvoja tai niiden välisiä suhteita. (Moll 1991, 108)

Kasvun rajat oli oikeastaan alustava julkaisu tuolloin vielä keskeneräiselle tutkimukselle. Yksityiskohtainen tutkimuksen ja tietokonemallin kuvaus sekä tutkimustulokset julkaistiin vasta pari vuotta myöhemmin (Meadows ym. 1974). Raporttia ei ollut tarkoitettu ennusteeksi tulevaisuudesta, kuten on usein virheellisesti päätelty (esim. Cole ym. 1973). Se oli ennemmin hyvin yksinkertaistettuun maailmanmalliin perustuva tulevaisuuden tutkimus. Tekijät korostivat selvityksen olevan lähinnä teoreettinen ajatusmalli, joka muistuttaa vain vähän reaali maailman kehitystä (Meadows ym. 1973, 24). (Moll 1991, 105–106)

Raportin mukaan teollisuusmaiden tuotantojärjestelmät voivat luonnonvarojen alihinnoittelun vuoksi toimia taloudellisesti tehokkaasti, vaikka ne tuhlaisivat raaka-aineita ja energiaa (Hoffrén 2001, 37). Lisäksi siinä korostettiin riippuvuutta uusiutumattomista luonnonvaroista ja luonnonvarojen ehtymisen ennustettiin nostavan raaka-aineiden hinnat niin kalliiksi, että ne rajoittavat kasvua (Meadows ym. 1973, 47, 56).

Malthusilaisen näkemyksen mukaan tärkeintä on uusiutumattomien luonnonvarojen absoluuttinen määrä ja rajallisuus. Kasvun rajat -raportti edustaa malthusilaista teknologista pessimismia, jonka mukaan teknologisella kehityksellä ei pystytä ehkäisemään luonnonvarojen

ehtymistä ja siitä aiheutuvia kasvun rajoituksia. Pessimististä näkemystä vastustavat ricardolaiset teknologiaoptimistit, jotka luottavat siihen, että teknologiset innovaatiot mahdollistavat luonnonvarojen riittävyyden pitkälle tulevaisuuteen. Heidän mukaansa käytettävissä olevien luonnonvarojen väheneminen johtaa kustannusten ja raaka-aineiden hintojen nousuun, mikä kannustaa uusien innovaatioiden kehittämiseen. Tämän koulukunnan ennusteet luonnonvarojen riittävyydestä ovat huomattavasti edellä mainittuja optimisempia. Esimerkiksi teknologisen kehityksen ja hintojen nousun myötä voidaan hyödyntää aiemmin kannattamattomina pidettyjä köyhempiä malmeja. (Pearce & Turner 1990, 288–289; Moll 1991, 126–129)

Ensimmäinen öljykriisi vuosina 1973–1975 toimi konkreettisena esimerkkinä luonnonvarojen rajallisuudesta (Hoffrén 1999, 10). Pelko luonnonvarojen ehtymisestä kuitenkin hiipui energian ja mineraalien reaalihintojen pudottua 1980-luvulla. Huomio siirtyi luonnonvarojen rajallisuudesta niiden käytöstä johtuviin ympäristöhaittoihin. (Tilton 1996) Worldwatch-instituutin Maailman tila<sup>2</sup> -raportti on yksi tunnetuimmista ympäristöongelmia käsittelevistä julkaisuista. Raporttia on julkaistu vuosittain 80-luvun puolivälistä lähtien ja se pyrkii tuomaan esille erilaisia talouskasvuun ja väestönkasvuun liittyviä ympäristöongelmia (esim. Brown ym. 1998). Luonnonvarojen käytön negatiiviset ympäristövaikutukset, kuten raskasmetallien kasautuminen, happamoituminen, rehevöityminen, otsonikato ja ilmaston lämpeneminen osoittavat, että luonnon kapasiteetti käsitellä päästöjä on rajallinen (Heiskanen ym. 2001, 38). Kasvun rajat eivät välttämättä johdu niinkään luonnonvarojen ehtymisestä vaan lähinnä jätenielujen kapasiteetista eli ekosysteemien kyvystä käsitellä päästöjä.

Lomborg (2001) kyseenalaistaa yleiset uskomukset ympäristön tilan jatkuvasta huononemisesta. Hän kritisoi muun muassa Rooman klubia ja Worldwatch-instituuttia tuomiopäivän julistamisesta ja ympäristöongelmien liioittelusta. Lomborgin mukaan suurin osa maailman tilaa kuvaavista indikaattoreista todistaa, että monessa suhteessa asiat ovat huomattavasti parantuneet, vaikkakaan eivät vielä riittävästi. Esimerkiksi maailman ruoantuotanto on kasvanut merkittävästi ja nälkää näkevien määrä on pienentynyt, vaikka ongelma ei olekaan kokonaan poistunut. Hänen lähtökohtanaan on, että ihmisen hyvinvointi tulee asettaa etusijalle ympäristöongelmien tarkastelussa. Lomborgin mukaan nykytilaa tulee verrata siihen, kuinka asiat olivat aikaisemmin

---

<sup>2</sup> State of the World



eikä siihen, kuinka asiat ideaalitilanteessa voisivat olla. Erityisesti on tarkasteltava riittävän pitkän aikavälin trendejä, jotta saadaan oikeanlainen kuva maailman tilan kehityksestä (Lomborg 2001, 4, 6–8, 12).

### **3. KESTÄVÄ KEHITYS**

Kestävällä kehityksellä tarkoitetaan kehitystä, joka ”tydyttää nykyhetken tarpeet viemättä tulevilta sukupolvilta mahdollisuutta tyydyttää omat tarpeensa” (WCED 1987, 5). Kestävän kehityksen käsite perustuu ajatukseen, että talous ei toimi erillään luonnonympäristöstä (Pearce ym. 1989, 4). Se on ympäristönsuojeluun ja luonnonvarojen käyttöön liittyvä tavoitetilä, toisaalta myös vahvasti poliittinen käsite, jolle ei ole löydetty yksittäistä tarkkaa määritelmää.

Tässä luvussa kuvataan aluksi, miten kansainvälisen ympäristöyhteistyön lisääntyessä kestävästä kehityksestä tuli yksi tärkeimmistä, ellei tärkein ympäristö- ja kehityspoliittinen tavoite. Tämän jälkeen määritellään kestävä kehitys ja tarkastellaan sen taloudellista, sosiaalista ja ympäristöön liittyvää osa-aluetta. Lisäksi määritellään luonnonpääoman käsite ennen kuin syvennyttään neoklassisen ja ekologisen taloustieteen näkemyseroihin kestävästä kehityksestä eli heikkoon ja vahvaan kestävyyteen.

#### **3.1. Kansainvälisen ympäristöyhteistyön kehitys**

Huoli ympäristöstä ja lisääntyneet ympäristöongelmat synnyttivät kansainvälisen ympäristöyhteistyön. Ensimmäinen kansainvälinen ympäristöasioihin keskittynyt kokous pidettiin vuonna 1972 Tukholmassa. Tämän Yhdistyneiden Kansakuntien (YK) Ihmisen ympäristö<sup>3</sup> -kokouksen tuloksena syntyi YK:n ympäristöohjelma<sup>4</sup>. Sen tavoitteena on seurata maailman ympäristön tilaa, edistää kansainvälistä yhteistyötä ja ympäristölainsäädännön kehittämistä sekä antaa suosituksia. (Hoffrén 2001, 27; Ulkoministeriö 2002)

Jo Kasvun rajat -raportissa esitettiin ajatus taloudellisesta ja ekologisesta tasapainosta (Meadows ym. 1973, 26). Luonnonvarojen käyttö ja talouskasvu nähtiin kuitenkin vielä tuolloin toisensa

---

<sup>3</sup> UN Conference on the Human Environment

<sup>4</sup> United Nations Environmental Programme, UNEP



poissulkevinä vaihtoehtoina (Pearce & Warford 1993, 41). Kansainvälinen Luonnonsuojeluliitto<sup>5</sup> (IUCN) julkaisi vuonna 1980 The World Conservation Strategy -teoksen (IUCN 1980), joka esitteli kestävä kehitys -käsitteen kansainvälisessä politiikassa. Kestävän kehityksen avulla olisi mahdollista yhdistää aiemmin erillisinä pidetyt talouskasvu, köyhyyden vähentäminen ja ympäristönsuojelu. Julkaisussa ei kuitenkaan luotu strategiaa, joka olisi ottanut huomioon YK:n tärkeänä pitämät ihmisten perustarpeet. (Moll 1991, 211) Kestävä kehitys ratkaisi 70-luvun talous–ympäristö -vastakkainasettelun: ympäristö ja talouskasvu eivät olleet enää toistensa vastakohtia, vaan ne täydensivät toisiaan. (Pearce ja Warford 1993, 41)

YK:n yleiskokous perusti vuonna 1983 Ympäristön ja kehityksen maailmankomission<sup>6</sup> (WCED). Komission raporttia Yhteinen tulevaisuutemme (WCED 1987) pidetään kestävän kehityksen perusteoksena, joka vakiinnutti käsitteen yleiseen käyttöön. Puheenjohtajansa mukaan nimetyssä ns. Brundtlandin komission raportissa esitettiin pitkän aikavälin ympäristöstrategia kestäväälle kehitykselle ja annettiin suosituksia talouskasvun aiheuttamiin sosiaalisiin ja ympäristöongelmiin (WCED 1987, 5; Hoffrén 2001, 28).

The World Conservation Strategy ei onnistunut yhdistämään taloustiedettä ja ympäristöä. Se ei kertonut, miten ympäristönsuojelu vaikuttaisi talouspolitiikkaan, millainen talouspolitiikka voisi johtaa ympäristön tilan heikkenemiseen tai millaisella talouspolitiikalla saataisiin aikaan myönteisiä ympäristövaikutuksia. Brundtlandin raportin sanoma sen sijaan oli, että taloudellisella kehityksellä on mahdollista turvata nykyisen sukupolven tarpeet vaarantamatta tulevien sukupolvien mahdollisuutta tyydyttää omat tarpeensa. Komissio ilmaisi huolestuneisuutensa paitsi talouden aiheuttamista ympäristöongelmista, myös siitä, ”miten ympäristön pilaantuminen voi hidastaa taloudellista kehitystä tai jopa kääntää sen suunnan” (WCED 1987, 19). (Pearce ym. 1989, xii–xiii)

Varmistaakseen kestävän kehityksen tavoitteiden saavuttamisen komissio järjesti kesäkuussa 1992 Rio de Janeirossa YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssin<sup>7</sup>. Konferenssin tuloksena syntyi Rion julistus – poliittinen asiakirja, jonka kestävän kehityksen 27 periaatetta valtiot sitoutuivat

---

<sup>5</sup> International Union for the Conservation Of Nature and Natural Resources

<sup>6</sup> World Commission on Environment and Development

<sup>7</sup> United Nations Conference on Environment and Development, UNCED

noudattamaan. Lisäksi laadittiin maailmanlaajuinen toimintaohjelma Agenda 21 konkretisoimaan sitä, miten Rion julistuksen periaatteita tulisi toteuttaa käytännössä. Siinä kehoitettiin valtioita muun muassa laatimaan kansalliset kestävän kehityksen strategiansa vuoteen 2002 mennessä. Suomi laati oman kestävän kehityksen ohjelmansa vuonna 1998. Kestävän kehityksen komissio<sup>8</sup> perustettiin vuonna 1992 valvomaan ja raportoimaan Rion kokouksen sopimusten täytäntöönpanoa. (Hoffrén 2001, 29; Ulkoministeriö 2002)

Vuonna 1997 järjestetyssä Agenda 21:n seurantakokouksessa, ns. Rio+5 -kokouksessa, todettiin, ettei maailmanlaajuisen kestävän kehityksen tavoitteita ja sitoumuksia ollut saavutettu (Ulkoministeriö 2002). Kymmenen vuotta Rion konferenssin jälkeen vuonna 2002 pidettiin Johannesburgissa YK:n Kestävän kehityksen huippukokous<sup>9</sup>. Kokous hyväksyi kestävän kehityksen toimeenpanosuunnitelman. Se jatkoi Agenda 21:n jalanjäljillä sisältäen aikataulutettuja tavoitteita kestävän kehityksen saavuttamiseksi. Ekologisen kestävän kehityksen varmistaminen on myös yksi YK:n vuosituhattulistuksen<sup>10</sup> päämääristä.

Kestävän kehityksen merkitys on korostunut kansainvälisessä politiikassa parin viime vuosikymmenen aikana. Rion kokouksen jälkeen on sovittu monista kansainvälisistä tavoitteista muun muassa kasvihuonekaasujen vähentämiseksi, biodiversiteetin suojelemiseksi ja aavikoitumisen ehkäisemiseksi (OECD 2001, 14).

### **3.2. Kestävän kehityksen määritelmä**

Brundtlandin komission määritelmän mukaan ”kestävä kehitys on kehitystä, joka tyydyttää nykyhetken tarpeet viemättä tulevilta sukupolvilta mahdollisuutta tyydyttää omat tarpeensa” (WCED 1987, 26). Tämä määritelmä on vakiintunut yleiseen käyttöön. On kuitenkin syytä muistaa, että Brundtlandin raportti on poliittinen julkaisu, minkä vuoksi kestävä kehitys on määritelty hyvin yleisluontoisesti ja kvalitatiivisesti. Käsitettä pidetään tieteellisesti epämääräisenä, koska sille ei ole yksiselitteistä määritelmää, joka voitaisiin ilmaista matemaattisessa muodossa (Hoffrén 1999, 17). Kestävälle kehitykselle onkin pyritty löytämään

---

<sup>8</sup> Commission on Sustainable Development

<sup>9</sup> World Summit of Sustainable Development

<sup>10</sup> Millenium Declaration

tarkempia määritelmiä, jotta sitä voitaisiin mitata. Useimmat niistä perustuvat kuitenkin Brundtlandin komission peruseriaatteisiin, minkä vuoksi niihin on tässä syytä paneutua tarkemmin.

Kestävyys edellyttää paitsi sukupolvien välistä myös kunkin sukupolven sisäistä tasa-arvoa (WCED 1987, 26–27). Yleisen tulkinnan mukaan nykyinen sukupolvi ei saa kulutuksellaan estää tulevia sukupolvia saavuttamasta vähintään yhtä korkeaa hyvinvointia (Tilton 1996). Jokaisen sukupolven tulee jättää jälkeensä vähintään yhtä suuri tuotantokanta kuin minkä se sai edelliseltä sukupolvelta (Dasgupta 2001, 139).

Brundtlandin komission mukaan kehityksen päämääränä on ihmisten tarpeiden tyydyttäminen. Raportti vaatii asettamaan etusijalle maailman köyhien perustarpeet (ruoka, vaatetus, asunto ja työpaikka). Vähimmäisvaatimukset ylittävä elintaso on mahdollinen pitkällä aikavälillä vain jos kulutus perustuu kestäväälle kehitykselle. (WCED 1987, 26)

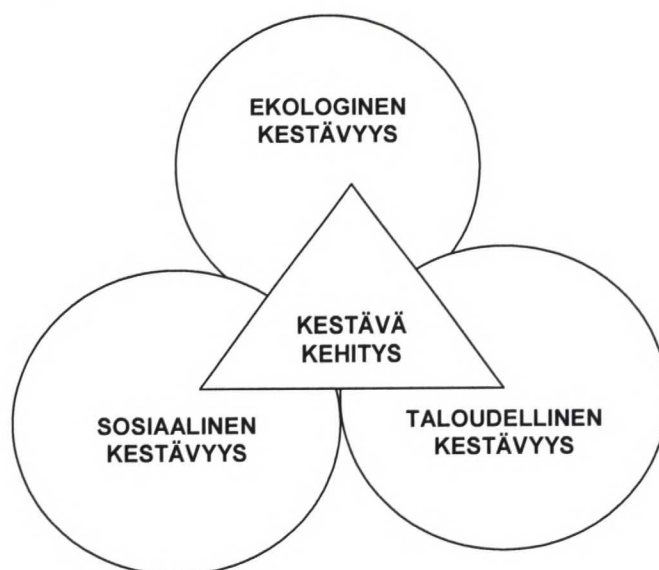
Kestävän kehityksen määritelmä painottaa myös ympäristön pilaantumisesta aiheutuvia rajoituksia, jotka vaarantavat luonnon kyvyn tyydyttää nykyisen ja tulevien sukupolvien tarpeet. Esimerkkinä tällaisista rajoituksista mainitaan luonnonvarojen liiakkäyttö. (WCED 1987, 26) Toisin kuin Rooman klubin julkaisu, Brundtlandin raportti suhtautuu optimistisesti teknologisen kehityksen mahdollisuuksiin. Siinä ei myöskään edellytetä talouskasvusta luopumista, vaan päinvastoin painotetaan, että talouskasvu on välttämätöntä köyhyysongelman ratkaisemiseksi (WCED 1987, 24, 27).

Vaikka jo Kasvun rajat -raportissa mainittiin ajatus kestävästä kehityksestä mukaisesta tasapainotilasta, lähestymistavat ongelmien ratkaisemiseksi ovat raporteissa lähes päinvastaiset. Siinä missä Rooman klubin raportti varoittaa kasvua uhkaavista tekijöistä, Brundtlandin raportissa puhutaan ihmisten perustarpeiden vaarantamisesta. Toisaalta kummankin julkaisun punaisena lankana on, että ympäristönäkökohdat tulisi ottaa huomioon kaikessa päätöksenteossa ja että materiaaliseen luonnonvarojen kulutukseen perustuva kasvu ei ole kestävää pitkällä aikavälillä.



### 3.3. Kestävän kehityksen osa-alueet

Kestävän kehityksen tavoitteet voidaan jakaa taloudelliseen, sosiaaliseen ja ekologiseen kestävyYTEEN, joita kutsutaan usein kestävän kehityksen kolmeksi pilariksi (Kuvio 2). Taloudellisen tehokkuuden lisäksi kestävä kehitys edellyttää, että tuotanto on ekologisesti tehokasta ja kestävää sekä sosiaalisesti eettistä ja oikeudenmukaista. Näistä vaatimuksista tosin vain taloudelliset ja ekologiset tekijät ovat mitattavissa. (Hoffrén 2001, 19) Sosiaalista ulottuvuutta on tavallisesti pidetty heikoimpana kestävyYden osa-alueena sen analyttisten ja teoreettisten puutteiden vuoksi (Lehtonen 2004).



**Kuvio 2 Kestävän kehityksen ulottuvuudet** (Ympäristöministeriö 1998, 7)

Taloudellisella kestävyYdellä tarkoitetaan tasapainoista talouskasvua, joka välttää pitkällä aikavälillä velkaantumista tai varantojen hävittämistä. Ekologinen kestävyys asettaa kestävän kehityksen perusehdot, joiden mukaan taloudellinen toiminta on sopeutettava luonnon kantokykyyn, jotta ekosysteemit säilyvät toimintakykyisinä. Suurimpia haasteita on hidastaa ilmastonmuutosta, säilyttää biologinen monimuotoisuus ja varmistaa luonnonvarojen kestävä käyttö. Sosiaalinen kestävä kehitys edellyttää hyvinvoinnin edellytysten siirtymistä sukupolvelta toiselle. Sosiaalisen kestävyYden haasteita ovat muun muassa väestönkasvu, köyhyys, ruoka- ja terveydenhuolto, sukupuolten välinen tasa-arvo ja koulutus. (Ympäristöministeriö 1998, 8–11)

Brundtlandin raportissa (WCED 1987) korostetaan, ettei kestävän kehityksen ekologiaa, sosiaalisia ja taloudellisia osa-alueita tulisi tarkastella toisistaan erillään. Myös Hediger (2000) toteaa, että kestävyyttä ei voida määritellä yksistään ympäristön kannalta. Hänen mukaansa kestävälle kehitykselle on määriteltävä yhtenäiset operatiiviset ehdot, joissa yhdistyvät kaikki kolme näkökulmaa. Hän kuitenkin painottaa, että kaikkien osa-alueiden tavoitteita ei voida saavuttaa yhtäaikaaisesti.

Atkinson ym. (1997, 2) huomauttavat, että kestävä kehitys ei välttämättä ole ratkaisu kaikkiin ongelmiin. Heidän mielestään kestävällä kehityksellä voidaan luoda illuusio siitä, että kehitys, tasa-arvoisuus ja ympäristönsuojelu on mahdollista yhdistää, vaikka tosiasiassa taloudellisten, sosiaalisten ja ekologisten tavoitteiden välillä on tehtävä kompromisseja.

Goodland ja Daly (1996) sen sijaan kehottavat erottamaan sosiaalisen, ekologisen ja taloudellisen kestävän kehityksen toisistaan. Vaikka näiden käsitteiden välillä on yhtäläisyyksiä, ne tulisi heidän mukaansa määritellä yksitellen, kullekin osa-alueelle ominaisten periaatteiden mukaan. Kestävää kehitystä tarkastellaan tällöin eri näkökulmista, ei niinkään yhtenä kokonaisuutena. Esimerkiksi sosiaalisia tekijöitä ei tulisi sekoittaa ekologiseen kestäväan kehitykseen. Samoin taloudellinen kestävyys pitäisi määritellä erillään muista osa-alueista.

Kestävän kehityksen ulottuvuuksien erottamisessa toisistaan on myös vaaransa. Ympäristöasiat on pidetty usein erillään talouteen liittyvistä kysymyksistä niin taloustieteessä kuin politiikassakin. Esimerkiksi kansantaloustieteessä on syntynyt erillinen ympäristötaloustieteen oppisuunta tarkastelemaan ympäristökysymyksiä. Tämä voi olla yksi syy siihen, ettei kestävän kehityksen tavoitteita ole saavutettu esitetyssä aikataulussa.

Lehtosen (2004) mukaan kestävän kehityksen ydin on siinä, että löydetään kompromisseja ja tasapaino keskenään ristiriitaisten taloudellisten, ekologisten ja sosiaalisten tavoitteiden välillä. Tämä edellyttää asioiden tarkastelua kokonaisvaltaisesta näkökulmasta eli pilarien väliset vuorovaikutussuhteet on otettava huomioon. Lehtonen toteaa, että jos kestävän kehityksen pilareita tarkastellaan toisistaan erillään, tuetaan vallitsevaa käsitystä siitä, että talous toimii

itsenäisesti, erillään sosiaalisista ja ympäristökysymyksistä. Tällöin saatetaan vain vahvistaa yhteiskunnan olemassa olevia rakenteita, vaikka kestävä kehitys edellyttäisi niihin muutoksia.

### **3.4. Uusklassinen vs. ekologinen kestävä kehitys**

Kestävää kehitystä voidaan tarkastella eri koulukuntien näkökulmasta. Uusklassinen taloustiede on keskittynyt lähinnä taloudelliseen kestäväan kehitykseen hyvinvoinnin näkökulmasta. Ympäristötieteilijät taas tarkastelevat ympäristöön liittyvää kestäväa kehitystä ja yhteiskuntatieteilijät sosiaalista kestävyyttä (Goodland ja Daly, 1996). Koulukunnat lähestyvät kestäväa kehitystä eri näkökulmista ja eroavat toisistaan siinä, millaisia oletuksia määritelmään sisältyy. Koulukunnat eroavat esimerkiksi siinä, painottavatko ne enemmän ihmisten tarpeita vai luonnonvaroihin liittyviä rajoituksia. Koska eroavaisuudet ovat arvopohjaisia, kestäväan kehityksen määritelmästä ei ole syntynyt yksimielisyyttä. Seuraavaksi keskitytään taloudelliseen ja ekologiseen kestäväa kehitystä. Jotta voitaisiin perehtyä näiden näkökulmien eroihin, tulee ensin määritellä pääomalajit, erityisesti luonnonpääoma.

#### **3.4.1. Pääomalajit**

Kestävä kehitys määritellään usein pääoman käsitteen suhteen. Talouden tuotantoperustalla tarkoitetaan reaalihyödykekantaa, jonka avulla voidaan tuottaa lisää hyödykkeitä tulevaisuudessa (Hicks 1974). Pääoma mahdollistaa hyvinvointia ja varallisuutta tarjoavien hyödykkeiden tuottamisen. Jos pääomakanta pienenee, myös tuotantokapasiteetti pienenee ceteris paribus eli kun tuottavuus ei muutu. (Hinterberger ym. 1997)

Kokonaispääoma jaetaan tavallisesti neljään luokkaan: (1) tuotettu pääoma, (2) luonnonpääoma, (3) inhimillinen/henkinen pääoma ja (4) sosiaalinen pääoma (manufactured/man-made capital, natural capital, human capital, social capital). Tosin Victorin (1991) mukaan ei ole yhtä ainoaa pääomateoriaa, jota kaikki taloustieteilijät kannattaisivat. Tuotettu pääoma koostuu rakennuksista, infrastruktuurista, tehtaista, koneista, kulkuvälineistä jne. Luonnonpääomalla viitataan luonnonympäristöön. Henkistä pääomaa käytetään kuvaamaan ihmisiä ja heidän kykyjään, tietämystä ja koulutusta. Yksi henkisen pääoman mitta on lukutaito, johon



yhteiskunnan täytyy jatkuvasti investoida ylläpitääkseen tätä pääomakantaa (Dasgupta 2001, 82). Sosiaalisen pääoman määrittelyyn liittyy monia ongelmia, mutta yleensä sillä tarkoitetaan instituutioita ja kulttuurista yhtenäisyyttä. (Dasgupta 2001, 82, 142; Goodland ja Daly 1996, 1002) Kaikki pääomalajit ovat jossain määrin riippuvaisia toisistaan. Esimerkiksi tuotetun pääoman määrä riippuu luonnonpääoman saatavuudesta. Oikeastaan vain luonnonpääomakanta on riippumaton muista pääomista uusiutumiskykynsä ansiosta. (James ym. 1989, 30)

Pearce ja Turner (1990) tekivät tunnetuksi ajatuksen luonnonpääomasta, jonka he johtivat taloustieteen tuotetun pääoman käsitteestä (Hinterberger ym. 1997). **Luonnonpääomaa** ovat luonnonympäristömme ja luonnonvarat: maaperä, ilmakehä, metsät, vesi- ja kosteikkoalueet, jäte- ja päästönielut eli luonnon assimilaatiokapasiteetti, otsonikerros jne. (Hoffrén 2001, 25). Luonnonpääoma ei ole homogeeninen ryhmä, sillä siihen kuuluu monia välttämättömiä, elämää ylläpitäviä tekijöitä. Niitä voidaan kutsua **kriittiseksi luonnonpääomaksi**, jonka korvaaminen on vaikeaa tai mahdotonta. Esimerkiksi otsonikerrosta ei pystytä korvaamaan samalla tavalla kuin fossiilisia polttoaineita voidaan korvata muilla luonnonvaroilla tai tuotetulla pääomalla. (Pearce & Warford 1993, 52–53) Kriittiselle luonnonpääomalle ei yleensä ole markkina-arvoa. Luonnonpääoma voidaankin jakaa myös markkinoilla hinnoiteltuihin luonnonvaroihin ja hinnoittelemattomiin elämää ylläpitäviin toimintoihin (Daly 1992, 259).

Victor (1991) varoittaa pääomakäsitteen olevan ympäristöön yhdistettynä jokseenkin vaarallinen. Hänen mukaansa tärkeä pääoman ominaisuus on, että se voidaan tuottaa ihmistoiminnalla, mikä ei kuitenkaan päde ympäristöön. Myös Hinterberger ym. (1997) kyseenalaistavat, onko luontoon viittaaminen pääomana ylipäänsä järkevää. Heidän mielestään luonnonpääoma ei kuvaa riittävän hyvin monimutkaisia dynaamisia ekosysteemejä. Lisäksi pääomakäsite sisältää implisiittisen oletuksen, että ympäristö olisi korvattavissa muilla pääomalajeilla. Tämä luonnonpääoman korvattavuus liittyy seuraavaksi käsiteltäviin heikkoon ja vahvaan kestävään kehitykseen.

Pääoman käsite havainnollistaa kestäväen kehityksen ajatusta sukupolvien välisestä tasa-arvosta. Jos tulevalle sukupolvelle on käytettävissään vähintään yhtä suuri pääomakanta kuin edellisellä sukupolvelle, sillä on mahdollisuus yhtä suuren hyvinvointitason saavuttamiseen. (Pearce ja

Warford 1993, 53) Kestävä kehitys edellyttää siis pääomakannan säilyttämistä, jotta ei vaaranneta tulevien sukupolvien mahdollisuuksia tuottaa varallisuutta ja hyvinvointia.

Kestävyyttä mittaavien indikaattoreiden kehittäminen on tärkeää, jotta voidaan arvioida toimiiko talous kestävän kehityksen mukaisesti. Pyrkimys löytää käytännönläheinen kestävän kehityksen määritelmä on johtanut heikon ja vahvan kestävyys käsitteiden syntymiseen (Cabeza Gutes 1996). Hoffrénin (2001, 33) mukaan jako heikkoon ja vahvaan kestäväan kehitykseen on kriittinen, kun arvioidaan kestävän kehityksen saavuttamista.

### ***3.4.2. Uusklassinen eli heikko kestävä kehitys***

Uusklassinen taloustiede tarkastelee kestävää kehitystä tavallisesti hyödyn tai hyvinvoinnin suhteen (Atkinson ym. 1997, 3). Uusklassiseen pääomateoriaan perustuvaa tulkintaa kestävästä kehityksestä kutsutaan heikoksi kestävyudeksi ja se pohjautuu Solowin (1974, 1986) ja Hartwickin (1977) työhön (Hoffrén 2001, 33). Heikon kestävän kehityksen ehtona on, ettei hyvinvoinnin tuottamiseen käytettävä kokonaispääomakanta pienene. Kokonaispääoma muodostuu tuotetusta, henkisestä ja luonnonpääomasta. (Hediger 1999)

Heikko kestävä kehitys on johdettu uusiutumattomia luonnonvaroja tarkastelevan kasvuteorian säästäminen-investointisäännöstä (Cabeza Gutes 1996). Ensimmäinen öljykriisi ja Rooman klubin raportti kannustivat taloustieteilijöitä tutkimaan rajallisten luonnonvarojen vaikutuksia talouskasvuun. Solow (1974) tarkasteli uusiutumattomien luonnonvarojen kulutusta sukupolvien välisen oikeudenmukaisuuden näkökulmasta. Hänen lähtöoletuksensa oli, että luonnonvarat ovat välttämätön tuotannontekijä. Muussa tapauksessa uusiutumattomat luonnonvarat voitaisiin kuluttaa loppuun ilman, että sillä olisi vaikutusta tuotantoon. Solowin mukaan aiemmat sukupolvet voivat kuluttaa rajallisia luonnonvaroja kunhan ne samalla kasvattavat tuottavaa pääomakantaa. Tämä johtopäätös edellyttää, että luonnonpääoman ja tuotetun pääoman/henkisen pääoman substituoitavuus ei ole yksikköjousto pienempi.

Solowin mukaan sukupolvien välinen oikeudenmukaisuus – kulutus henkeä kohti vakio yli ajan – toteutuu, kun uusiutumattomien luonnonvarojen tuotot investoidaan tuottavaan pääomaan.



Kokonaispääomakanta ei tällöin pienene (koneiden arvon alenemista ei ole otettu huomioon). (Hartwick 1977) Solow (1986) on todennut, että nykyinen sukupolvi ei erityisesti ole velvollinen säilyttämään mitään resurssivarantoa tuleville sukupolville. Tärkeämpää on säilyttää tuotantokapasiteetti tai tietty hyvinvoinnin taso. Kyse on lähinnä tehokkuudesta eikä oikeudenmukaisuudesta, saavatko tulevat sukupolvet tämän kapasiteetin luonnonvarojen vai tuotetun pääoman tai teknologisen tietämyksen muodossa.

Heikon kestävyysperusoletus siis on, että eri pääomalajit ovat toistensa substituuotteja. Koska vain kokonaispääomalla on merkitystä, luonnonpääomalla ei ole erityisasemaa tuotettuun pääomaan verrattuna. Luonnonpääoma on siis korvattavissa tuotetulla tai henkisellä pääomalla edellyttäen, että se takaa nykyisen hyvinvointitason myös tulevaisuudessa. (Hoffrén 2001, 33)

### ***3.4.3. Ekologinen eli vahva kestävä kehitys***

Ekologinen taloustiede on yksi uusklassisen koulukunnan kriitikoista. Se on poikkitieteellinen tieteenala, joka tarkastelee uusklassisessa taloustieteessä vähälle huomiolle jääneitä ympäristökysymyksiä, pääasiassa ekosysteemien ja talousjärjestelmien välisiä suhteita. 1960-luvun lopusta lähtien ekologinen taloustiede on pyrkinyt ymmärtämään, mallintamaan ja selittämään globaaleja ongelmia, kuten luonnonvarojen niukkuutta ja ympäristön saastumista. (Costanza ym. 1991, 3) Yhtenä ekologisen taloustieteen tavoitteena on lisätä tietämystä siitä, miten eri luonnonvarat vaikuttavat ihmisten hyvinvointiin ja missä määrin ne ovat korvattavissa toisilla luonnonvaroilla ja muilla pääomilla (Arrow ym. 2004, 152). Ekologinen taloustiede ja kestävä kehityksen periaatteet etsivät vastauksia siihen ristiriitaan, että maailman talous on kasvanut, mutta globaali ekosysteemi ei ole kasvanut talouden mukana. (Hoffrén 2001, 27, 31)

Ekologista kestävä kehityksen tulkintaa kutsutaan vahvaksi kestävyudeksi. Vahva kestävä kehitys määritellään luonnonpääoman suhteen ja se asettaa uusklassista näkökulmaa tiukemmat ehdot kestävyydelle. Luonnonpääomalla on kriittisiä tehtäviä, joita ei voi korvata muilla pääomalajeilla. Vahva kestävä kehitys edellyttää ei-vähenevää luonnonpääomakantaa, jotta turvataan ekosysteemien toiminta myös tulevaisuudessa. Tämän koulukunnan edustajia ovat



muun muassa David Pearce, Paul Ekins, Herman Daly, Robert Goodland ja Robert Costanza. (Cabeza Gutés 1996; Hediger 2000; Hoffrén 2001, 33)

Ekologisen kestävän kehityksen lopullisena päämääränä on lisätä ihmisten hyvinvointia. Ympäristö nähdään sekä raaka-aineita tarjoavana resurssivarantona että haitallisten päästöjen nieluna. Näin ollen ekologisesta näkökulmasta hyvinvoinnin edellytykset turvataan suojelemalla luonnonvaroja ja ehkäisemällä luonnon kantokyvyn ylittyminen. (Goodland & Daly 1996) Daly (1992, 256) esitti vuonna 1977 ehdot, joiden täyttyessä aineiden kiertokulku luonnon ja yhteiskunnan välillä on ekologisesti kestävä. Nämä ehdot on omaksuttu ekologisessa taloustieteessä kestävän kehityksen peruseriaatteiksi.

### **Vahvan kestävyuden periaatteet**

1. **Ihminen ei saa toiminnallaan ylittää luonnon kantokykyä.** Tämä on tärkein kestävän kehityksen periaate. Päästöjen määrä ei saa ylittää luonnon assimilaatiokapasiteettia. Jos saavutetaan luonnon kantokyvyn rajat, joudutaan Dalyn mukaan valitsemaan väestömäärän ja keskimääräisen elintason (luonnonvarojen kulutus henkeä kohti) välillä. Kestävään kehitykseen vaikuttaa sekä luonnonvarojen riittävyys että niiden käytön tehokkuus. Tämä periaate tosin säilyy teoreettisena siihen asti, kunnes kehitetään operationaaliset kustannusten ja hyödyn mittarit. Muut periaatteet pyrkivät siirtämään tämän yleisen makrotason rajoitteen mikrotasolle.
2. **Uusiutuvien luonnonvarojen käyttö ei saa ylittää niiden syntyvauhtia.** Kun uusiutumattomat luonnonvarat vähenevät, uusiutuvien luonnonvarojen merkitys resurssilähteenä ja päästönieluna kasvaa. Niiden saatavuutta ei saa vaarantaa liikkakäytöllä. Uusiutuvia luonnonvaroja tulisi käyttää kestävän tuotoksen mukaisesti, eivätkä jätemäärät saisi ylittää ympäristön assimilaatiokapasiteettia.
3. **Uusiutumattomia luonnonvaroja tulisi käyttää vain sitä mukaa kun niille löydetään uusiutuvia substituuotteja.** Uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöä tulisi kompensoida investoimalla uusiutuviin luonnonvaroihin.
4. **Teknologisella kehityksellä tulisi pyrkiä enemmän tehokkuuden parantamiseen kuin tuotantokapasiteetin lisäämiseen.** (Daly 1992, 256)

Vahva kestävyys olettaa, että luonnonpääoma ja tuotettu pääoma eivät ole toistensa substituuotteja vaan komplementteja. Esimerkiksi sahalaitos (tuotettu pääoma) on hyödytön ilman puutavaraa (luonnonpääoma). Luonnonpääomaa ja tuotettua pääomaa tulee siis tarkastella toisistaan erillään, ei yhteenlaskettuna kokonaispääomana (Daly & Cobb 1989, 72). Yhden pääomalajin kulutusta ei voi korvata investoimalla johonkin toiseen pääomalajiin, kuten heikon kestävyuden tapauksessa ajatellaan. Esimerkiksi öljytulot tulisi investoida sen varmistamiseksi, että tulevilla sukupolvilla on käytettävissä vähintään yhtä suuret energiavarat kuin mitä nykyinen sukupolvi hyötyy öljyn kulutuksestaan. Samalla logiikalla jos investointi yhteen koulutukseen vähenee, tulisi vastapainoksi lisätä jotakin muuta koulutusta eikä esimerkiksi tieinvestointeja. (Goodland ja Daly 1996)

#### ***3.4.4. Näkemyserot luonnonvarojen korvattavuudesta***

Uusklassinen ja ekologinen tulkinta kestävästä kehityksestä eroavat erityisesti suhtautumisessaan luonnonpääomaan eli ovatko luonnonpääoma ja muut pääomalajit toistensa substituuotteja vai komplementteja. Ympäristötieteilijät painottavat, että luonnonvaroilta on vain rajatusti substituuotteja. Heidän näkökulmastaan taloustieteilijät ovat ylioptimistisia uskoessaan, että luonnonvaroja voidaan korvata muilla pääomilla. Luonnonvarojen ehtyminen ei tällöin olisi ongelma. (Arrow ym. 2004, 152) Hedigerin (1999) mukaan erot perustuvat erilaisiin näkemyksiin siitä, millainen kestävä maailman tulisi olla ja mitä tulisi säilyttää. Teoreettiset erot liittyvät ympäristön arvostamiseen ja siihen, millaisia pääoman käsitteitä käytetään. Taloudellinen lähestymistapa korostaa luonnon merkitystä tuotannontekijänä ja resurssilähteenä, kun taas ekologinen näkökulma on luontokeskeisempi ja katsoo luonnolla olevan arvoa jo sinänsä (Hoffrén 1999, 60).

Yhden näkemyksen mukaan luonnonvarojen käyttöön liittyvät ongelmat voidaan ratkaista lisäämällä tuotettua ja henkistä pääomaa kuten tietämystä. Dasgupta (2001, 127) esittää neljä tapaa, joilla substituuutio auttaa resurssirajoitteita joko paikallisesti tai globaalisti. 1) Kulutuksessa voidaan korvata luonnonmateriaaleja muilla aineilla, esimerkiksi puuvilla ja villa tekokuiduilla. 2) Tuotetulla pääomalla voidaan korvata tuotannossa käytettävää työvoimaa ja luonnonvaroja. 3)

Uusia tuotantomenetelmiä voidaan ottaa käyttöön vanhojen tilalle. 4) Luonnonvaroja voidaan korvata toisilla luonnonvaroilla. Esimerkiksi uusiutuvat luonnonvarat voivat syrjäyttää uusiutumattomat energianlähteet. Myös metsien muuttaminen viljelymaaksi on yhdenlaista substituutiota, jossa ekosysteemejä muutetaan ruoantuotannon lisäämiseksi.

Ympäristötieteilijät ovat huolissaan luonnon kantokyvyn ylittämisestä, eikä teknologinen kehitys heidän mukaansa poista tätä rajoitetta. Teknologian avulla on pystytty korvaamaan monia luonnonvaroja – esimerkiksi luonnonkumi synteettisellä kumilla tai kupari muovilla – kierrättämään jätteitä ja puhdistamaan päästöjä. El Serafyn (1991, 170) mukaan teknologinen kehitys ei kuitenkaan etene yhtä nopeasti ympäristön pilaantumisen kanssa. Hän perustelee näkemystään sillä, että optimistiset näkemykset teknologian voimasta eivät ole onnistuneet ratkaisemaan väestönkasvun ongelmaa, joka on merkittävä ympäristörasituksen aiheuttaja. On myös esitetty tulkinta, että Ricardon suhteellinen niukkuus mahdollistaa ehtyvien luonnonvarojen korvaamisen toisilla, kun taas Malthusin absoluuttinen niukkuus pitää substituutiota mahdottomana (Hoffrén 1994, 22).

Arrow ym. (2004) toteavat, että monet valtiot, erityisesti maailman köyhimmmät maat, eivät toimi kestäväen kehityksen mukaisesti, koska niiden investoinnit henkiseen ja tuotettuun pääomaan eivät ole riittäviä tasapainottamaan luonnonpääoman ehtymistä. Tosin he myöntävät, että on haasteellista määrittää, kuinka paljon tarvitaan toista pääomalajia korvaamaan yhden yksikön menetys toisessa pääomassa. Heidän näkemyksensä kuvaa heikon kestävyiden ajatusta siitä, että luonnonvarojen ehtyminen voidaan korvata panostuksilla muihin pääomalajeihin. Toisaalta he eivät kiellä luonnonpääoman merkitystä hyvinvoinnin lähteenä vaan ainoastaan tarkastelevat kestävä kehitystä eri näkökulmasta kuin vahvan kestävyiden kannattajat.

Goodland ja Daly (1996) kritisoivat heikon kestävyiden oletusta luonnonpääoman korvattavuudesta. Heidän tulkintansa mukaan heikko kestävyys tarkoittaa, että kaikki tai suurin osa maailman luonnonpääomasta voitaisiin muuttaa tuotetuksi pääomaksi ilman että ihmisten hyvinvointi huononisi. Luonnonpääoma ja tuotettu pääoma eivät heidän mielestään ole toistensa täydellisiä substituuotteja vaan päinvastoin lähinnä toistensa komplementteja. Kun vielä otetaan



huomioon tehottomuudet nykyisessä resurssien käytössä, heikko kestävyys toimii Goodlandin ja Dalyn mielestä ainoastaan ensiaskeleena ympäristöön liittyvän kestävyiden saavuttamiselle.

Tosin myös Dasgupta (2001, 128–129) huomauttaa, että luonnonvarojen korvaaminen tuotetulla pääomalla voi olla yhteiskunnallisesti kannattamatonta. Luonnonvarannon pilaantuminen vaikuttaa paitsi ekosysteemin palvelujen määrään ja laatuun, myös uhkaa ekosysteemin palautumiskykyä ja kestävyyttä. Menetykset lajien monimuotoisuudessa ovat peruuttamattomia, eikä niitä voida korvata tuotetulla pääomalla.

Holland (1997, 126) huomauttaa, että heikon ja vahvan kestävyiden näkökulmat luonnonvarojen korvattavuudesta eivät oikeastaan eroa toisistaan. Heikko kestävyys sallii substituution sillä edellytyksellä, että hyvinvointi ei vähene. Vahva kestävyys taas olettaa, että kriittiselle luonnonpääomalle ei ole olemassa substituuotteja. Jos tällaisia luonnonpääoman välttämättömiä ominaisuuksia ei voi korvata tuotetulla pääomalla, heikon kestävyiden mukainen substitutio johtaisi hyvinvoinnin vähenemiseen, eikä luonnonpääoman korvaaminen tällöin olisi mahdollista. Heikko ja vahva kestävyys eivät siis olekaan toistensa vastakohtia.

Ekologinen ja uusklassinen näkemys vain painottavat eri asioita kestävässä kehityksessä. Luonnonvarojen suojelu ei automaattisesti tyydytä ihmisten tarpeita, vaikka se onkin välttämätöntä, jotta turvataan hyvinvoinnin edellytykset myös tulevaisuudessa. Tosin jos kestävä kehitys tarkastellaan pääasiassa hyvinvoinnin suhteen, ympäristöongelmat tuskin ratkeavat itsestään vain sillä, että tiedostetaan niiden olemassaolo ja vaikutus ihmisten hyvinvointiin. Tämän vuoksi tarvitaan vahvan kestävyiden periaatteiden kaltaisia ehtoja. Niitä voidaan soveltaa, kun laaditaan konkreettisempia kestävä kehityksen toimintaohjeita.

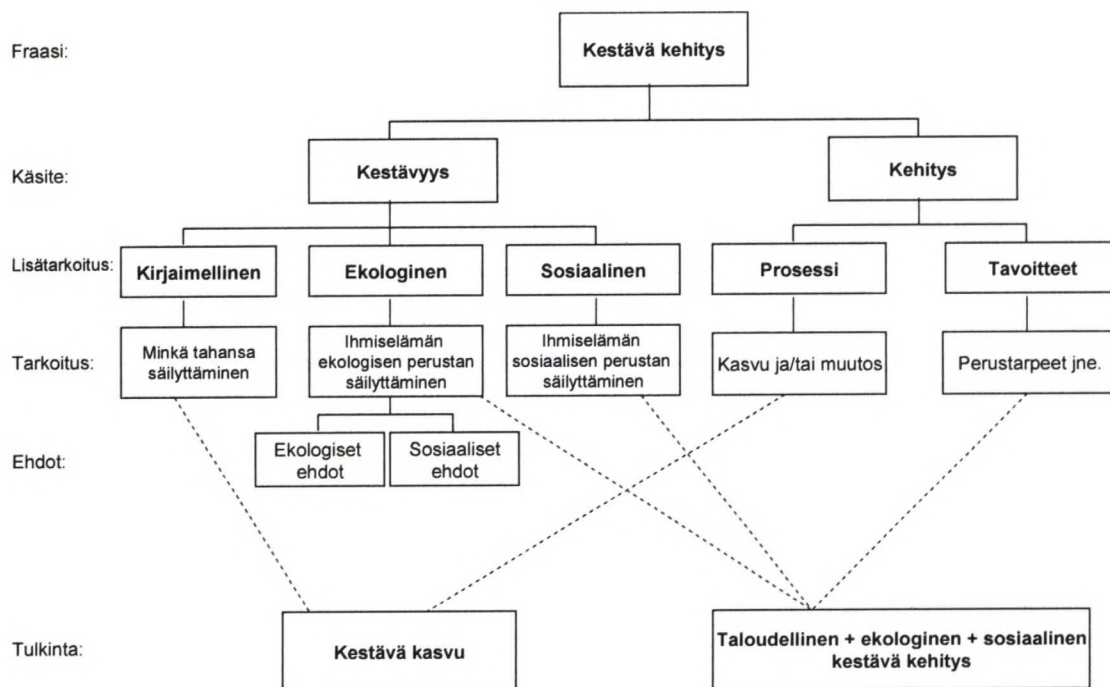
### **3.5. Kestävä kehitys vs. kestävä kasvu**

Kestävä kehityksen synonyyminä puhutaan usein kestävästä kasvusta. Nämä kaksi käsitettä on kuitenkin syytä erottaa toisistaan. Daly ja Cobb (1989, 71) määrittelevät kasvun aineellisena määrän lisääntymisenä taloudessa. Maailman ekosysteemit eivät kuitenkaan kasva talouden

mukana, joten fyysinen kasvu ei voi rajallisessa maailmassa jatkua loputtomiin. Tämän vuoksi kestävä kasvu on heidän mielestään käsitteenä ristiriitainen.

Kestävään kehitykseen sen sijaan ei liity samanlaista ristiriitaisuutta kuin kestäväan kasvuun. Kehitys tarkoittaa Dalyn ja Cobb:n (1989, 71) mukaan talousjärjestelmän laadullista muuttumista, joka tapahtuu tasapainossa ympäristön kanssa. Kehitys voi siis jatkua ikuisesti, koska sillä ei ole fyysisiä rajoituksia. Goodland ja Daly (1996) määrittelevät kehityksen mahdollisuuksien lisääntymisenä, etenemisenä ylemmälle kehitystasolle. Kasvu viittaa saatuun lisäarvoon. Kestävä kehitys vaatii erottelmaan, mikä osuus lisäarvosta on seurausta tuotoksen lisääntymisestä (kasvu) ja mikä laadullisista parannuksista (kehitys). Kehityksen yhteydessä puhutaan usein myös laadullisesta kasvusta.

Lélé (1991) perustelee kestäväan kehitykseen liittyviä tulkinnallisia ongelmia semantiikalla eli merkitysoilla. Hän kuvaa semanttisen kartan (Kuvio 3) avulla, miksi kestävä kehitys on saanut niin monia eri määritelmiä. Lélé tarkastelee erikseen kestävyuden ja kehityksen saamia merkityksiä.



**Kuvio 3 Kestävän kehityksen semantiikka (Lélé 1991)**

Kestävyys (sustainability) voidaan Lélén (1991) mukaan ymmärtää kolmella tavalla. Kirjaimellisesti tulkittuna kestävyys tarkoittaa minkä tahansa asian säilyttämistä ja sitä voidaan jatkaa loputtomasti tai vain tietyn aikaa. Ekologisen tulkinnan mukaan kestävyys merkitsee ihmiselämän ekologisen perustan säilyttämistä. Sosiaalinen tulkinta kestävyydestä taas korostaa elämän sosiaalisen perustan säilyttämistä.

Kehitys (development) voidaan ymmärtää joko kasvun tai muutoksen prosessina tai tavoitteena (perustarpeiden tyydyttäminen). Ajatus kestävästä kasvusta saadaan yhdistämällä kirjaimellinen tulkinta kestävyydestä kehityksen kasvuprosessimerkitykseen. Mikäli ekologinen tai sosiaalinen kestävyys yhdistetään kehityksen tavoite-merkityksen kanssa, syntyy vallitseva tulkinta perinteisistä kehitystavoitteista ja ekologisesta sekä sosiaalisesta kestävyydestä. (Lélé 1991) Lélén esitys kuvaa Helmisen (1998, 34–35) mielestä hyvin syitä kestäväen kehityksen eri tulkinnolle, vaikka semantiikan tutkiminen ei tarjoakaan yleisesti hyväksyttyä määritelmää kestäväälle kehitykselle.

#### **4. TALOUSKASVUN JA LUONNONVAROJEN KÄYTÖN IRTIKYTKENTÄ**

Talouskasvun ja luonnonvarojen käytön **irtikytKentä** (decoupling) tarkoittaa ”kehitystä, jossa talous kasvaa, mutta luonnonvarojen kulutus ja päästöt samaan aikaan vähenevät” (Rissa 2001, 34). Talouskasvu olisi tällöin ekologisesti kestävämpää, mikä edistäisi myös kestävää kehitystä. Talouskasvun ja ympäristön välisiä yhteyksiä on tärkeää tutkia, jotta löydettäisiin ympäristön kannalta kestävämpiä toimintatapoja (Munasinghe 1999). Talouskasvua mitataan reaalisen bruttokansantuotteen (BKT) kehityksellä, jota pidetään usein myös merkinä ihmisten hyvinvoinnin lisääntymisestä ajan kuluessa. BKT antaa kuitenkin yksipuolisen kuvan talouden kehityksestä, sillä se ei ota huomioon esimerkiksi ympäristön saastumista. BKT:n perusteella ei näin ollen voi arvioida, onko talouskasvu kestäväen kehityksen mukaista. Kestävää kehitystä ei voi mitata vain rahamääräisillä indikaattoreilla, sillä siihen sisältyy taloudellisen kehityksen lisäksi myös ekologinen ja sosiaalinen ulottuvuus.

Ympäristötaloustieteen teoriat eivät vastaa yksiselitteisesti siihen, parantaako vai huonontaa talouskasvu ympäristön tilaa. Yhden näkemyksen mukaan talouskasvu on väistämättä haitallista



ympäristölle, koska se vaatii luonnonvarojen ja muiden ympäristöresurssien voimakasta hyödyntämistä (Haukioja & Kaivo-oja 1998). Vastakkaisen näkemyksen mukaan talouskasvu vaikuttaa ympäristöön myönteisesti ja vain kasvun myötä on varaa päästä eroon ympäristöongelmista (Tisdell 2001). Talouskasvu on kuitenkin perinteisesti perustunut luonnonvarojen käytön lisäämiseen, mikä on samalla kasvattanut ympäristökuormitusta.

Tässä luvussa tarkastellaan luonnonvarojen käytön vähentämisen strategioita, dematerialisaatiota ja ekotehokkuutta. Lisäksi tutustutaan yhteiskunnalliseen termodynamiikkaan sekä ajatukseen talouden suljetusta ainekierrosta. Termodynamiikan pääsäännöt muodostavat teoriakehyksen luonnonvarojen käytön mittaamiselle.

#### 4.1. Dematerialisaatio ja ekotehokkuus

**Dematerialisaatio** tarkoittaa taloudessa kulkevien ainevirtojen minimointia; luonnonvarojen käytön ja/tai syntyneiden jätemäärien vähenemistä (Cleveland & Ruth 1999). **Absoluuttinen dematerialisaatio** tarkoittaa luonnonvarojen ja energian kokonaiskäytön vähenemistä. **Suhteellinen dematerialisaatio** tarkoittaa talouden materiaalitehokkuuden paranemista. Sitä mitataan suhteuttamalla luonnonvarojen käyttö bruttokansantuotteeseen. (Heiskanen ym. 2001, 31) Suhteellinen dematerialisaatio on merkki talouskasvun ja luonnonvarojen käytön irtikytkenästä eli tilanteesta, jossa talous kasvaa luonnonvarojen kulutusta nopeammin. On kuitenkin tärkeää huomata, että se ei välttämättä tarkoita luonnonvarojen kokonaiskulutuksen vähenemistä (Jalas 2001a, 43). Dematerialisaatiota voidaan tarkastella paitsi kansantalouden tasolla, myös toimialoittain tai tuotetasolla, mutta tässä tutkielmassa sillä viitataan koko kansantalouden luonnonvarojen käyttöön.

Dematerialisaation synonyymina puhutaan usein **ekotehokkuudesta**. Se viittaa toiminnan taloudelliseen ja ekologiseen tehokkuuteen (economic-ecological efficiency), jolla pyritään maksimoimaan hyvinvointia ja minimoimaan luonnonvarojen kulutusta, saastumista ja jätemääriä (Hoffrén 2001, 43). Perusajatuksena on tuottaa vähemmästä määrästä luonnonvaroja enemmän hyvinvointia (Hoffrén 1998, 6). Ekotehokkuutta voidaan mitata tuotoksen (tuotteiden ja

palvelujen arvo) suhteena käytettyihin panoksiin (ympäristövaikutukset, esimerkiksi käytettyjen luonnonvarojen tai syntyneen jätteen määrä) (Helminen 1998, 10):

$$\text{Ekotehokkuus} = \frac{\text{Arvonlisäys}}{\text{Ympäristövaikutus}} .$$

Ekotehokkuuden määritelmä on vielä melko epäselvä ja sen merkitys vaihtelee käyttöyhteydestä riippuen. Business Council for Sustainable development (BCSD, nykyään World Business Council on Sustainable Development WBCSD) teki käsitteen tunnetuksi Rion kokouksessa vuonna 1992. BCSD:n mukaan ”ekotehokkuus saavutetaan tarjoamalla kilpailukykyisesti hinnoiteltuja tuotteita ja palveluja siten, että inhimilliset tarpeet tyydytetään ja elämän laatu taataan, ja samalla lisääntyvässä määrin vähennetään tuotannon elinkaaren aikaisia ekologisia vaikutuksia ja tuotteiden resurssi-intensiivisyyttä vähintään tasolle, joka vastaa maapallon arvioitua kantokykyä (BCSD 1993)”. (KTM 1998, 13)

Ekotehokkuus on väline ekologisen kestävyys saavuttamiseksi (KTM 1998, 13). Sen avulla kestävä kehityksen vaatimuksia voidaan muuttaa käytännön tavoitteiksi ja kehittää indikaattoreita kestävä kehityksen mittaamiseksi (OECD 1998, 3). OECD:n kestävä kulutuksen ja tuotannon työohjelman mukaan ”Ekotehokkuus on kvantitatiivisiin panos/tuotosmittauksiin perustuva toimintastrategia, jolla pyritään maksimoimaan energian ja materiaalien tuottavuus. Tavoitteena on vähentää resurssien kulutusta ja päästöjä tuotantoyksikköä kohti ja samalla tuottaa kustannussäästöjä ja kilpailuetua. Ekotehokkuus voidaan nähdä myös yritysten, viranomaisten ja kotitalouksien käyttäytymistä ohjaavana lähestymistapana, jolla pyritään tavoitteiden ja asenteiden muuttamiseen ympäristömyötäisiksi.” (KTM 1998, 14)

WBCSD:n mukaan ekotehokkuus yhdistää makrotason kestävä kehityksen ja mikrotasolla tapahtuvan yritystoiminnan (OECD 1998, 20). Siinä missä kestävä kehitys on koko yhteiskunnan tavoite, ekotehokkuus on enemmän yhteiskunnan yksittäisten toimijoiden ja erityisesti yritysten päämäärä. Muun muassa Heiskanen ym. (2001, 30) puhuvat tuote- ja yritystasolla ekotehokkuudesta ja kansantalouden tasolla dematerialisaatiosta. Ekotehokkuus on kehitetty ensisijaisesti yritysten ympäristöhallinnon välineeksi (Mäenpää ym. 2000, 8). Toisaalta esimerkiksi Hoffrén (1999, 2001) on tutkinut ekotehokkuutta kansantalouden tasolla.

Ekotehokkuus on välttämätön, mutta ei riittävä ehto kestäväälle kehitykselle (OECD 1998, 69). Se ei ole ratkaisu kaikkiin kestävä kehityksen tavoitteisiin, kuten köyhyyden vähentämiseen, demokratian edistämiseen ja ihmisoikeuksien turvaamiseen (Mt. 16). Ekotehokkuus ei voi tarkoittaa pelkästään vähemmästä enemmän, sillä pienikin määrä haitallista ainetta saattaa ylittää luonnon kantokyvyn (Helminen 1998, 40). Ekotehokkuuden toteutuminen ei myöskään automaattisesti edistä kestävä kehitystä. Vaikka luonnonvarojen käytön suhteellinen tehokkuus paranisi, väestönkasvu tai tuotannon ja kulutuksen kasvu voivat lisätä luonnonvarojen absoluuttista kulutusta ja siten kumota ekotehokkuudesta saadut hyödyt. (Schmidheiny & Zorraquin 1996, 17) Esimerkiksi öljyn korkeiden hintojen aikaan 1970- ja 1980-luvuilla ilmaliikenteen energiantensiteetti laski 4 prosenttia vuodessa. Samaan aikaan ilmaliikenne kuitenkin kasvoi 8 prosentin vuosivauhtia, joten energian kokonaiskulutus kasvoi, eikä saastuminen siten vähentynyt ekotehokkuudesta huolimatta. (OECD 1998, 12)

Dematerialisaatioon ja ekotehokkuuteen liittyy niin sanottu factor X -tavoite, joka asettaa kvantitatiiviset rajat energian ja materiaalien käytön vähentämiselle. Factor 10 -tavoitteen mukaisesti luonnonvaroja tulisi vähentää kymmenesosaan nykyisestä, mutta kerroin vaihtelee aina 4:stä (lyhyt aikaväli) ja 50:een (pitkä aikaväli). Yksimielisyyttä ei ole syntynyt siitä, mitä factor X -tavoite pyrkii vähentämään. Sillä on viitattu muun muassa resurssi- ja energiatuottavuuteen, luonnonvarojen kokonaiskäyttöön, erilaisiin ekotehokkuuden indikaattoriyhdistelmiin tai jätteiden määrään. Tavoite on kuitenkin herättänyt kiinnostusta erityisesti poliittisessa päätöksenteossa. (Reijnders 1998) Tosin OECD:n (1998, 10) mukaan tavoitetta ei tulisi ottaa kirjaimellisesti, sillä energian ja luonnonvarojen käytöllä on vain osittainen yhteys ympäristöongelmiin.

Ihmisen aiheuttama ympäristörasitus riippuu paitsi kulutuksen ja tuotannon kokonaisvolyymistä, myös tuotanto- ja kulutusyksikköä kohti syntyvistä ympäristöhaitoista (OECD 1998, 15). Dematerialisaatio edellyttää varsinkin teollisuusmaissa muutoksia paitsi tuotanto- myös kulutustapoihin (Rissa 2001, 34). Makrotaloudelliset muutokset syntyvät mikrotason muutoksista tuotteissa ja prosesseissa. Materiaalien absoluuttinen käyttö ja talouden materiaali-intensiteetti ovat näin ollen riippuvaisia mikrotason kehityksestä. (Jalas 2001b, 93)



Luonnonvarojen kulutuksen vähentämiseen on olemassa erilaisia tapoja (Hoffrén 1998, 18):

1. materiaalien kysynnän vähentäminen,
  - a. parantamalla materiaalien käytön tehokkuutta ja tuotteiden ekologista suunnittelua,
  - b. muuttamalla kulutustottumuksia ja
  - c. siirtämällä kysyntää tuotteista palveluihin,
2. tuotteiden kierrätyksen lisääminen,
3. aurinkoenergian käytön lisääminen ja
4. raaka-aineiden ja niitä runsaasti sisältävien tuotteiden hinnan nostaminen.

Factor X -keskustelu on hyvin teknologiaoptimistinen, sillä se keskittyy vahvasti teknologisen kehityksen tarjoamiin mahdollisuuksiin vähentää ympäristön kuormitusta (Reijnders 1998).

Teknologinen kehitys voi parantaa luonnonvaratuottavuutta eri tavoin (Heiskanen ym. 2001, 24):

1. Teknologinen kehitys voi tehostaa yksittäisiä toimintoja (esim. logistiikan tai tuotannon tehostuminen).
2. Teknologia voi johtaa muutoksiin toimialan sisällä, mikä tehostaa toimialan tapaa tuottaa lisäarvoa (esim. yritykset käyttävät vähemmän luonnonvaroja ja enemmän palveluja).
3. Teknologian kehittyminen voi siirtää kulutusta toimialojen välillä (esim. tuotteista aineettomiin palveluihin).

Dematerialisaation saavuttamiseksi tarvitaan näitä kaikkia keinoja. Tosin yksittäisten toimintojen tehostaminen ei vähennä luonnonvarojen käyttöä merkittävästi, varsinkin jos tuotantoteollisuuden kokonaistuotos pysyy ennallaan. Lisäksi tehokkuutta on mahdollista parantaa vain tiettyyn rajaan asti esimerkiksi paperiteollisuudessa tai maanviljelyssä. (Heiskanen ym. 2001, 24) Kaksi jälkimmäistä teknologian vaikutustapaa käsittelevät erityisesti palveluita ja sitä, miten hyvinvoinnin ja varallisuuden tuottaminen on taloudessa järjestetty. Ne tarkastelevat sitä, miten perinteiset teollisuuden alat tuottavat arvoa (mitä panoksia ne käyttävät ja mitä ne tuottavat) ja mihin kuluttajien kysyntä suuntautuu. Teknologiset muutokset tarvitsevat tuekseen myös institutionaalisia muutoksia ja uudelleenjärjestelyjä, jotta myös ihmisten elintavat ja kulutuskäyttäytyminen muuttuisivat vähemmän luonnonvaroja käyttäviksi. (Mt. 24)

Ekotehokkuus perustuu yhteiskunnallisen termodynamiikan periaatteisiin, joiden mukaan luonnonvarojen käyttöä vähentämällä minimoidaan myös haitallisia ympäristövaikutuksia, kuten saasteita ja jätettä. Perusajatuksena on, että mitä enemmän luonnonvaroja kulutetaan, sitä enemmän todennäköisesti syntyy sivutuotteina jätteitä ja saasteita. (Hoffrén 2001, 17–18)

## 4.2. Yhteiskunnallinen termodynamiikka

Termodynamiikka eli fysiikan lämpöoppi tarkastelee systeemin ja sen ympäristön välistä aineen ja energian vaihtoa. Systeemiä sanotaan suljetuksi, jos se ei vaihda ainetta ympäristön kanssa ja päinvastaisessa tapauksessa systeemi on avoin. (Hoffrén 1999, 64, Otavan Suuri Ensyklopedia 1981, 7094) Lämpöopin perussääntöjä soveltava yhteiskunnallinen termodynamiikka (Social Thermodynamics) analysoi luonnon ja talouden ainekiertoa. Yhteiskunnallisen termodynamiikan teoriaan perustuvat niin ekotehokkuus kuin luonnonvarojen käyttöä mittaava ainevirtatilinpito, jota tarkastellaan luvussa 5. Seuraavaksi tutustutaan termodynamiikan pääsääntöihin, joilla perustellaan sitä, miksi luonnonvarojen käyttö ei voi kasvaa loputtomasti.

### 4.2.1. *Termodynamiikan pääsäännöt*

Termodynamiikan kahden pääsäännön mukaan ”maailmankaikkeuden energia on muuttumaton ja sen entropia kasvaa” (Lavonen ym. 1995, 99). Entropia on termodynamiikan perussuure, joka mittaa epäjärjestyksen määrää systeemissä (Karttunen 2004, 55).

**Termodynamiikan ensimmäinen sääntö eli energian säilymislaki:** energian ja materian kokonaismäärä maailmankaikkeudessa on vakio. Energiaa ja ainetta ei koskaan häviä fyysisissä prosesseissa, vaan ne voivat ainoastaan muuttaa muotoaan. (Georgescu-Roegen 1971, 128–129; Hoffrén 1999, 65; Lavonen ym. 1995, 51)

Termodynamiikan ensimmäisen lain eli energian säilymislain mukaan aineen ja energian määrä on vakio. Mitä suurempi on aineellinen tuotanto ja kulutus, sitä suuremmaksi jätteiden ja päästöjen määrä kasvaa. Systeemiin (tuotantoprosessi, yritys tai kansantalous) sisään menevä

aine joko jää sinne tai poistuu systeemistä tuotoksena (Eurostat 2001, 11). Tämä **ainetaseen periaate** (material balance principle) voidaan ilmaista muodossa (Mäenpää & Vanhala 2002, 36):

$$\text{Systeemin sisään tulevan aineen määrä} = \\ \text{systeemistä ulos tulevan aineen määrä} + \text{systeemin sisään varastoituvan aineen määrä}.$$

**Termodynamiikan toinen sääntö eli entropialaki:** maailmankaikkeuden entropia eli epäjärjestyksen aste kasvaa siirtyessään kohti tasapainotilaa. Systeemi pyrkii itsestään kohti suurempaa epäjärjестystä ja eristetyn systeemin entropia on suurin tasapainotilassa. Entropia ei voi koskaan vähetä eristetyssä systeemissä ilman lisäenergiaa. (Georgescu-Roegen 1971, 128–129; Karttunen 2004, 55–56)

Termodynamiikan lakien mukaan talouden tuotantoprosessit eivät koskaan ole sataprosenttisen tehokkaita. Tämän vuoksi niillä on väistämättä haitallisia vaikutuksia. (Hoffrén 1999, 65–66) Kaikissa tuotantoprosesseissa taistellaan entropialakia vastaan, sillä tuotteen valmistuksessa muutetaan raaka-aineiden entropiaa, mikä vaatii energiaa. Tuotantoprosesseilla on aina ympäristövaikutuksia, sillä energian käyttö kasvattaa entropiaa saasteiden ja/tai lämmön leviämisen myötä. Myös saasteen leviämisen estäminen tai saasteiden poisto jälkikäteä vaatii entropian alentamista, mikä edelleen lisää energian kulutusta ja saastumista. Näin ollen tuotantoprosessi kasvattaa aina kokonaisentropiaa. (Lavonen ym. 1995, 101) Lisäksi entropian takia materiaali-jätteen tai energian täydellinen kierrättäminen on mahdotonta. (Daly 1992, 15–17, 185) Tosin aineiden täydellinen kierrättäminen on fyysisesti mahdollista, mutta energiantarve kasvaisi niin suureksi, ettei se ole taloudellisesti kannattavaa (Bianciardi ym. 1993). Entropialaki siten asettaa rajoituksen loputtomalle aineelliselle talouskasvulle.

#### **4.2.2. Talouden suljettu ainekierto**

Yhteiskunnallisen termodynamiikan käsityksen mukaan maapallo on energian suhteen avoin järjestelmä, sillä maapallolle tulee energiaa auringon säteilystä. Ainekierron suhteen maapalloa pidetään suljettuna järjestelmänä. (Hoffrén 1999, 65)



Boulding (1966) kuvaa entropian ja suljetun ainekierron merkitystä luonnonvarojen kulutukselle käyttämällä vertauskuvia cowboy- ja avaruusalustalouksista. Hän oli ensimmäisiä raaka-aineiden käytön minimoinnin puolestapuhujia ympäristötaloustieteessä (Hoffrén 1999, 31). Cowboy-taloudessa (cowboy economy) on käytettävissä rajattomasti luonnonvaroja tuotannon raaka-aineiksi, eikä saastuttamiselle ole rajoja. Tuotanto ja kulutus ovat tavoiteltavia asioita ja talouden menestystä mitataan tuotoksen määrällä (bruttokansantuotteella), joka kuvaa tuotannontekijöiden läpivirtausta. Kun maailman väestö oli nykyistä pienempi ja luonnonvarojen käyttö teollisuustuotannossa vähäisempää, cowboy-talous oli toimiva vaihtoehto. 1900-luvun väestönkasvun ja teollistumisen myötä cowboy-talous on kuitenkin saavuttanut rajansa talousjärjestelmänä. Boulding kuvaa uutta tulevaisuuden taloutta ainekierroltaan suljetuksi avaruusalustaloudeksi (spaceman economy), jossa tavoitellaan tuotoksen maksimoinnin sijasta aineen läpivirtauksen minimointia. Talouden menestystä eivät määritä tuotanto ja kulutus, vaan kokonaispääomakannan rakenne, laatu ja monimuotoisuus. Avaruusalustaloudessa pyritään kokonaispääomakannan ylläpitämiseen, ei sen kasvattamiseen. (Boulding 1966)

Ayres ja Kneese (1969) kuvaavat saastumista talousjärjestelmän ainetaseongelmana. Heidän mukaansa saastuminen on väistämätön ja pysyvä ilmiö, joka perustuu aineiden suljettuun kiertoon taloudessa (Hoffrén 1999, 67). Termodynamiikan lakien mukaisesti luontoon päätyy yhtä paljon sivutuotteita ja jätteitä kuin alun perin raaka-aineita on otettu tuotantoon ja kulutukseen. Ajatusta materiaalien ja energian suljetusta kehästä maapallolla sovellettiin myös Kasvun rajat -raportissa, jonka mukaan talouskasvun ja aineellisen kulutuksen pysäyttäminen oli ainoa keino estää luonnonvarojen ehtyminen. (Hoffrén 2001, 37–38)

Aineiden ja energian kierron perusteella muun muassa Daly (1992) käyttää nykyisestä talousjärjestelmästä nimitystä ”läpivirtaustalous” (throughput economy). Aineiden läpivirtaus kuvaa talouden tuotantorakennetta, jossa luonnosta otettavat aineet muuttuvat tuotantoprosesseissa jätteiksi ja päästöiksi, jotka lopulta päätyvät takaisin luontoon. (Hoffrén 1999, 69) Entropian ja termodynamiikan sääntöjen perusteella tulisi Dalyn (1992, 15–17) mukaan pyrkiä stationääriseen talousjärjestelmään (Steady-State Economy), jossa aineen ja energian virta minimoidaan ekosysteemin suojelemiseksi. Se kuvaa taloutta, joka ei kasva vaan kehittyy.

## 5. AINEVIRTATILINPITO

Luonnon ja talouden välisiä fyysisiä ainevirtoja mitataan ainevirtatilinpidolla (käytetään myös nimitystä materiaalivirtatilinpito), jonka teoria perustuu fysiikan lämpöopin pääsääntöihin. Ainevirtatilinpidon perustana on pyrkimys suhteuttaa luonnonvarojen käyttö luonnonympäristön kykyyn tarjota resursseja ja käsitellä jätteitä (Adriaanse ym. 1997, 5). Ainevirtatilinpito tarjoaa analyyttisen menetelmän, jolla saadaan tarkempaa tietoa talouden fyysisen toiminnan ja ympäristön vuorovaikutussuhteesta (Mt. 2).

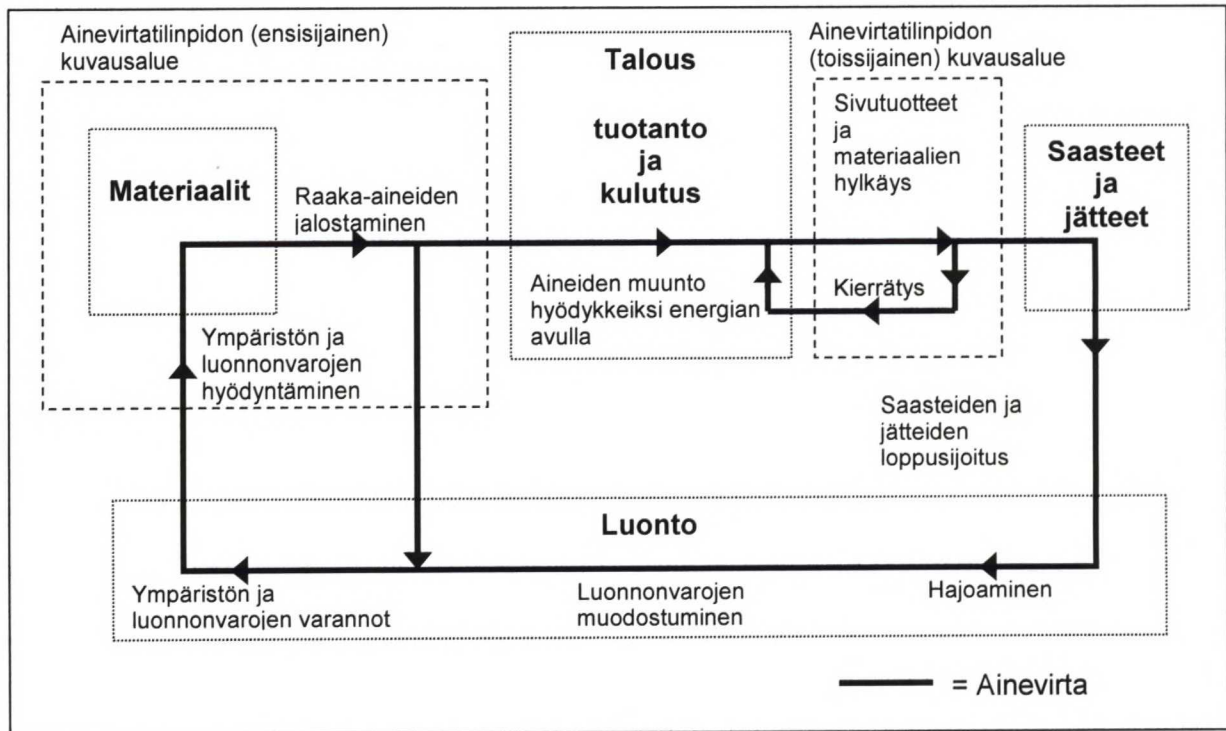
Tässä luvussa määritellään aluksi ainevirtatilinpito ja ainevirta-analyysi sekä tarkastellaan niiden käyttömahdollisuuksia. Tämän jälkeen esitellään kaksi kansantalouden dematerialisaation indikaattoria: luonnonvarojen kokonaiskäyttö ja materiaali-intensiteetti. Lopuksi tarkastellaan, millaisia kiistanalaisuuksia liittyy ainevirtatilinpitoon ja ainevirtojen erilaisiin ympäristövaikutuksiin.

### 5.1. Ainevirtatilinpidon määritelmä

**Ainevirtatilinpito** (Material Flow Accounting, MFA) on kansantaloudellinen seurantajärjestelmä, joka mittaa ja tilastoi luonnon ja talouden välisiä fyysisiä ainevirtoja. Talouden luonnonvarojen käyttöä mitataan fyysisen painon perusteella (kiloina, tonneina). Tilinpito perustuu systemaattisesti järjestettyihin tileihin, joten se tarjoaa yksittäisiä päästötietoja kattavamman kuvauksen talouden ainevirroista. (Hoffrén 1998, 7) Ainevirtojen tarkastelu eroaa luonnonvarojen varantotarkastelusta aikaulottuvuuden suhteen. Varanto kuvaa luonnonvaran määrää tietyllä ajanhetkellä, kun taas virralla on aina aikaulottuvuus ja määrä ilmaistaan aikayksikköä kohti. (Muukkonen 1990, 53) Ainevirtatilinpidossa mitataan tavallisesti ainevirtoja vuoden ajalta.

Ainevirtatilinpidolla kerättyjen tietojen arviointimenetelmää kutsutaan **ainevirta-analyysiksi** (Material Flow Analysis, MFA). Sillä arvioidaan raaka-aineiden hankintaan, muokkaamiseen, tuotantoon, kulutukseen, kierrätykseen ja aineiden hävittämiseen liittyviä ainevirtoja (OECD

2003, 13). Kuvio 4 esittää materiaalien suljetun kierron luonnon ja talouden välillä sekä ainevirtatilinpidon kuvausalueet.



**Kuvio 4 Materiaalien suljettu kierto ja ainevirtatilinpidon kuvausalueet** (Hoffrén 1998, 21)

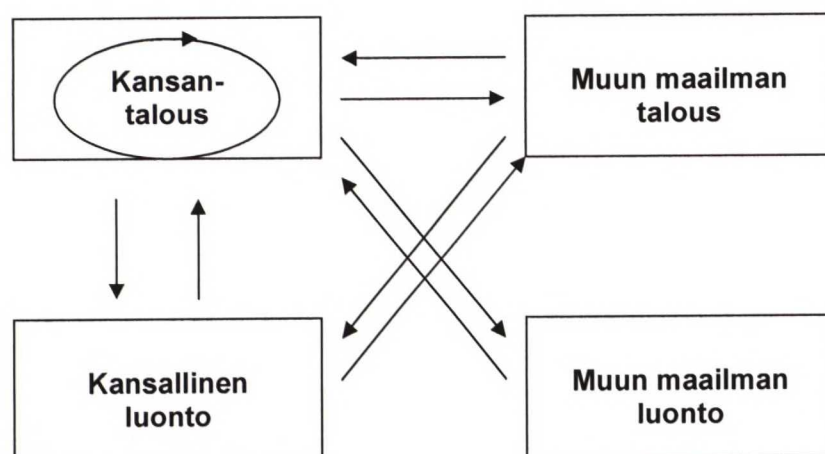
Kansantalous voidaan kuvata luonnonvarojen muuntojärjestelmänä, jossa luonnosta otettavat raaka-aineet muunnetaan taloudessa hyödykkeiksi ja palautetaan käytön jälkeen jätteinä ympäristöön. Osa jätteistä kierrätetään ja osa muuttuu luonnossa uudelleen luonnonvaroiksi. (Tilastokeskus 1992, 11) Ekologisessa ympäristötaloustieteessä tätä raaka-aineiden muuttumista hyödykkeiksi, päästöiksi ja jätteiksi kutsutaan termillä **teollinen aineenvaihdunta** (industrial metabolism) (Hoffrén 1998, 20).

Mäenpään (2005, 5) mukaan ainevirtatilinpito tarjoaa laajan tietopohjan, joka auttaa paremmin hahmottamaan ihmisen toiminnan ympäristövaikutuksia. Ympäristötilastot keskittyvät pääasiassa yksittäisiin ympäristöongelmiin ja niitä aiheuttaviin päästöihin. Sirpaleisista tiedoista on vaikea muodostaa kokonaiskuvaa talouden ja ympäristön vuorovaikutuksesta. Tilinpidon avulla voidaan tutkia yksittäisten ympäristöongelmien sijaan koko talouden materiaalipohjaa, niin käytettyjä raaka-ainepanoksia kuin taloudessa syntyviä päästöjä ja jätteitä. Panoksista ja tuotoksista



koostuva materiaalitase voidaan käyttää analyyttisenä työkaluna talouden ja ympäristön vuorovaikutussuhteen tutkimisessa. (Mt. 5) Tällaisia järjestelmiä voidaan käyttää luonnonpääomassa tapahtuvien muutosten analysointiin. Ainevirtatilinpito tarjoaa ainoat johdonmukaiset ja luotettavat arviot ainekäytön muutoksista, minkä vuoksi arvioiden perusteella voidaan tehdä luotettavimmat analyysit talouden ainekäytöstä. (Hoffrén ym. 2000)

Ainevirtatilinpidolla kuvataan tavallisesti yhden maan kansantalouden ainevirtoja. Systemirajat määrittelevät, mitä ainevirtoja tilinpidolla mitataan (Kuvio 5).



**Kuvio 5 Maailman ositus ainevirtatilinpidossa** (Mäenpää 2005, 7)

Kansantalouden sisäisten ainevirtojen lisäksi tutkitaan kansantalouden ja luonnon – niin kansallisen kuin muun maailman luonnon – välisiä ainevirtoja. Tilinpidon avulla voidaan tarkastella myös kansantalouden viennin ja tuonnin ainevirtoja. Ulkomaankaupan myötä tuotannon ympäristövaikutukset usein syntyvät eri maassa kuin loppuhyödykkeet kulutetaan. (Mäenpää 2005, 7) Talouden ja luonnon systemirajojen määrittelyyn liittyy monia tapauskohtaisia rajausongelmia, joihin ei välttämättä ole yksiselitteistä ratkaisua, kuten ovatko kaatopaikat osa luontoa vai taloutta (Eurostat 2001, 17). Koska rajanveto vaikuttaa suoraan siihen, mitä ainevirtoja lasketaan talouden ainekäyttöön, tulisi mitattavista ainevirroista luoda yhdenmukaiset standardit.

Ainevirtatilinpidon ja ainevirta-analyysin avulla voidaan

- analysoida talouden ainevirtojen rakennetta ja trendejä: esimerkiksi kuinka paljon käytetään uusiutuvia ja uusiutumattomia luonnonvaroja tai minkälainen on maatalouden tuottavuus sen aiheuttamaan eroosioon verrattuna,
- tutkia taloudellisen toiminnan fyysisiä vaikutuksia esimerkiksi vertaamalla kansantalouden tilinpitoa ainevirtatilinpitoon, (Adriaanse ym. 1997, 9)
- laatia indikaattoreita luonnonvarojen kokonaiskäytöstä,
- laatia indikaattoreita kansantalouden tai yksittäisten toimialojen resurssi- ja ekotehokkuudesta sekä arvioida, onko luonnonvarojen kulutus tuhlaavaa ja missä käyttöä voitaisiin tehostaa (Hoffrén 1999, 68),
- arvioida tuonnin ja viennin aiheuttamia materiaalivirtoja ja maankäyttöä,
- analysoida luonnonvarojen käytön teknologisia, rakenteellisia ja kysynnän muutoksia ja
- tarkastella poliittisten ohjauskeinojen vaikutusta (Atkinson ym. 1997, 37–38). (Eurostat 2001, 10)

## 5.2. Ainevirtojen jaottelu ja tilinpidon menetelmät

Ainevirrat voidaan jakaa kolmeen kategoriaan:

- kotimaisiin ja ulkomaisiin virtoihin luonnonvarojen alkuperän perusteella.
- suoriin ja välillisiin ainevirtoihin tuoteketjun tai elinkaaren mukaan. Suorat ainevirrat ovat luonnosta talouden käyttöön otettavia panoksia. Välilliset virrat taas syntyvät jossain tuotantoprosessin vaiheessa, mutta ne eivät sisälly loppuhyödykkeeseen.
- käytettyihin ja käyttämättömiin panoksiin sen perusteella, otetaanko materiaalit talouden käyttöön. Käyttämättömiä ainevirtoja kutsutaan myös piilovirroiksi. Niitä syntyy luonnonvarojen aineoton yhteydessä, kun luonnonainesta siirretään tai muunnetaan, mutta ei kuitenkaan oteta talouden käyttöön (esimerkiksi kaivostoiminnan sivukivi tai puunkorjuun hakkuutähteet). (Eurostat 2001, 20; Mäenpää & Vanhala 2002, 36; Mäenpää & Juutinen 2000, 2)

Ainevirtoja mitataan siksi, että ympäristörasituksen ajatellaan olevan sitä suurempi mitä enemmän luonnonvaroja käytetään. Luonnonvarojen kulutus nähdään yhtenä ihmisen

aiheuttamista ympäristövaikutuksista. Ainevirtojen ympäristövaikutukset voivat olla lyhyt- tai pitkäaikaisia, suoria tai välillisiä, paikallisia tai maailmanlaajuisia, ennustettavissa tai ennestään tuntemattomia. (OECD 2003, 15)

Ainevirrat voidaan erotella niiden ympäristövaikutusten perusteella. Tällainen laadullinen erottelu tarjoaa lisätietoa aineiden käytöstä ja niiden ympäristövaikutusten luonteesta. Luokitteluun ei kuitenkaan ole vielä olemassa yhtä standardimenetelmää. Adriaanse ym. (1997, 6) ehdottavat aineiden ryhmittelyä niiden haitallisuuden, liikkuvuuden ja pitkäikäisyyden mukaan:

- **Aineen haitallisuus** tarkoittaa sen potentiaalia vaikuttaa ympäristöön fyysisesti tai kemiallisesti. Biohajoavat materiaalit ovat yleensä vähemmän haitallisia kuin kemiallisesti reaktiiviset aineet.
- **Aineen liikkuvuus** määrittelee, kuinka laajalla alueella aine voi vaikuttaa ympäristöön. Ilma- tai vesipäästöt leviävät laajemmalle alueelle kuin kaatopaikoille päätyneet jätteet.
- **Aineen pitkäikäisyys** taas tarkoittaa sitä, kuinka nopeasti ainevirta kulkee talouden läpi ympäristöön.

Ainevirtatilinpidon taustalla vaikuttaa kaksi ekologisen kestävyysstrategiaa: detoksifikaatio ja dematerialisaatio. Strategiat vaikuttavat siihen, mitä materiaalivirtoja tilinpidon avulla tutkitaan. **Detoksifikaation** (suom. ympäristömyrkkyjen poisto) tavoitteena on vähentää saastumista ehkäisemällä haitallisten aineiden joutumista ympäristöön. Tarkoituksena on vähentää ihmisille tai ekosysteemeille haitallisia ympäristövaikutuksia kuten rehevöitymistä, happamoitumista, otsonikatoa tai ilmaston lämpenemistä. Tämän vuoksi tutkitaan yksittäisten aineiden virtoja luonnon ja talouden välillä. **Dematerialisaatio** pyrkii minimoimaan luonnonvarojen kokonaiskulutusta (vesi, energia, raaka-aineet) ja siten vähentämään ympäristöhaittoja (jätteitä, päästöjä ilmaan ja veteen). Dematerialisaation edistämiseksi tutkitaan luonnonvarojen kokonaiskäyttöä. Näiden strategioiden eroista johtuen ainevirroilla voidaan siis tarkoittaa sekä 1) kemiallisia aineita ja yhdisteitä (substance) (esimerkiksi hiili tai hiilidioksidi) että 2) kiinteitä materiaaleja (bulk material) (esimerkiksi kivihiili, puutavara). (OECD 2003, 14–15; Bringezu & Kleijn 1997, 326) Taulukko 1 kuvaa, millaisia ainevirtoja tilinpidolla voidaan tarkastella.



**Taulukko 1 Ainevirta-analyysin lähestymistapoja**

Analyysilaji	I			II		
	a	b	c	a	b	c
Tutkimuksen kohteet	Ympäristöongelmat per ainevirtayksikkö			Systeemin läpivirtauksen ympäristöongelmat		
	Aineet	Materiaalit	Tuotteet	Yritykset	Toimialat	Alueet
	Cd, Cl, Pb, Zn, Hg, N, P, C, CO <sub>2</sub> , CFC	puu-tuotteet, energian lähteet, maan-siirto, biomassa, muovit	autot, vaipat, paristot jne.	tehtaat, keski- suuret/ suuret yritykset	tuotanto- sektorit, kemian- teollisuus, rakennus- toiminta jne.	kokonaisläpi- virtaus, luonnonvarojen kokonaiskäyttö, ainevirtatase
	yrityksissä, toimi-aloilla ja alueilla			aineisiin, materiaaleihin, tuotteisiin liittyvät		

(OECD 2003, 15; Bringezu & Kleijn 1997, 326)

Ainevirtatilinpäidolla voidaan tutkia

I) yksittäisten aineiden ympäristövaikutuksia teknisestä näkökulmasta (detoksifikaatio):

- a) **Aineet.** Ainesvirta-analyysillä (Substance Flow Analysis, SFA) voidaan tutkia yksittäisten ympäristölle haitallisten aineiden kulkua ympäristöön, saastuttavia prosesseja ja saastelähteitä sekä niiden ympäristövaikutuksia. Kerättyjen tietojen avulla voidaan muun muassa laatia ympäristökuormitusindikaattoreita (Hoffrén 1998, 6). Tutkimuksia on tehty raskasmetallien kaltaisista ympäristömyrkyistä, ravinteista ja hiili- ja halogeeniyhdisteistä (OECD 2003, 15). Esimerkiksi hiiliyhdisteet aiheuttavat ilmastolämpenemistä ja typen kaltaiset ravinteet taas ovat syynä rehevöitymiseen. (Bringezu & Kleijn 1997, 326–327)
- b) **Materiaalit.** Teollisuuden perusraaka-ainevirrat (metallit, puutuotteet kuten sellu ja paperi, rakennusmateriaalit) voivat olla sinänsä suhteellisen harmittomia ympäristölle, mutta ne voivat aiheuttaa välillisiä ympäristövaikutuksia. Esimerkiksi alumiinintuotanto kuluttaa paljon energiaa. Perusmateriaaleja kuten muoveja tutkitaan myös kierrätys- ja uusiokäyttömahdollisuuksien selvittämiseksi.
- c) **Tuotteet.** Yksittäisten tuotteiden ja palvelujen ympäristövaikutuksia niiden elinkaaren aikana valmistuksesta hävittämiseen tutkitaan elinkaariarviointilla (Life Cycle Assessment, LCA). (OECD 2003, 16)

**II) systeemin aiheuttamaa aineiden läpivirtauksen ympäristörasitusta holistisesta yhteiskunnallis-taloudellisesta näkökulmasta (dematerialisaatio):**

- a) Yritykset.** Yritysten luonnonvarojen käytön ja päästöjen mittaaminen on yleistymässä osana ympäristöjohtamista ja -raportointia. Tavoitteena on yleensä selvittää tärkeimmät läpivirtaukseen liittyvät ongelmat sekä kehittää ratkaisuja ja työkaluja ekotehokkuuden arvioimiseen ja parantamiseen.
- b) Toimialat.** Ainevirtatilinpidolla voidaan tarkastella yksittäistä toimialaa ja vertailla eri toimialoja niiden ainevirtojen – panosten ja tuotosten – perusteella. (Liitteessä 1 on kuvattu, miten Suomen metsäteollisuuteen liittyvät ympäristöongelmat on jaoteltu ympäristövaikutusanalyysillä)
- c) Alueet.** Ainevirtatilinpitoa käytetään erityisesti maantieteellisten alueiden ja kansantalouksien luonnonvarojen kokonaiskäytön tai yksittäisten ainevirtojen arviointiin. Suorituskykyä analysoidaan tutkimalla läpivirtauksen volyymia, rakennetta sekä sen kestävyyttä ja trendejä. (OECD 2003, 15–17)

Ainevirtatilinpito on makrotaloudellinen seurantajärjestelmä, kun taas ainesvirtatilinpidolla seurataan haitallisten aineiden käyttöä mikrotasolla (Hoffrén 1998, 22). Ainevirtatilinpito käsittelee yleensä aineita ja materiaaleja (Ia, Ib) sekä toimialoja ja alueita (IIb, IIc) (OECD 2003, 17). Sillä pyritään selvittämään, onko eri toimialojen, yritysten tai alueiden läpivirtaus määrältään ja rakenteeltaan kestäväällä tasolla. Tavoitteena on luoda indikaattoreita yleisestä ympäristörasituksesta, luonnonvarojen kokonaiskulutuksesta sekä uusiutuvien ja uusiutumattomien luonnonvarojen käytön suhteesta. (Bringezu & Kleijn 1997, 327)

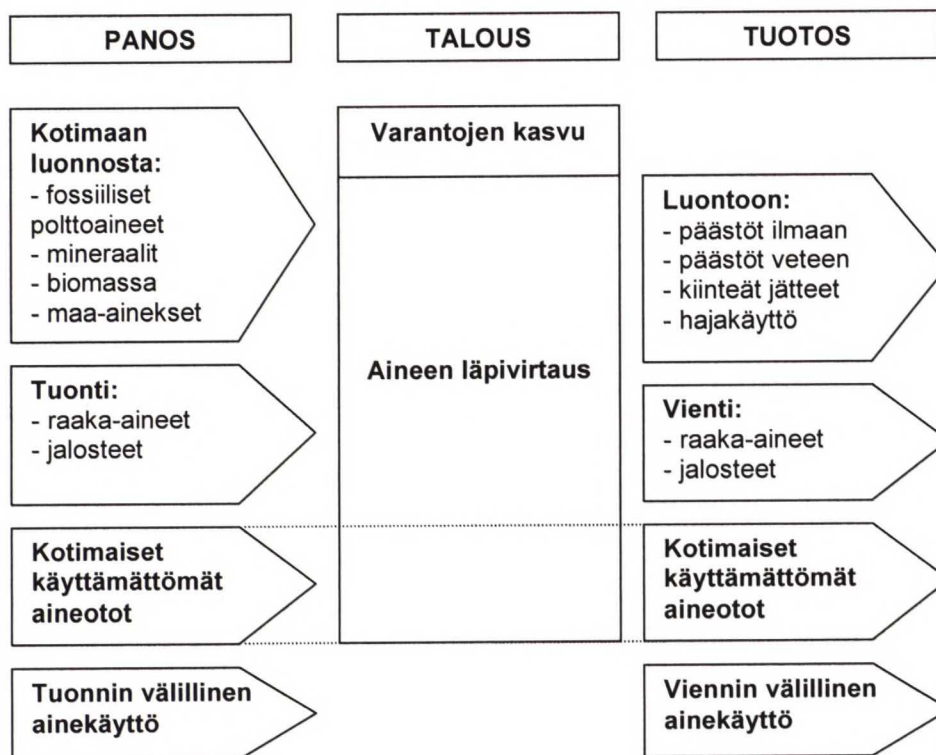
Kansantalouden ainevirtatilinpito ja kansainväliset standardit tilinpitokäytäntöjen yhdenmukaistamiseksi ovat vielä kehitysvaiheessa. Dematerialisaatiota mitataan niin yksittäisten aineiden kulutuksella kuin luonnonvarojen kokonaiskäytöllä. Dematerialisaatiota tulisi arvioida makrotasolla, mutta tällöin törmätään käytännön ongelmiin. Dataa on yleensä saatavilla sitä vähemmän mitä laajempi on tarkastelukokonaisuus. Riittävän pitkien aikasarjojen puuttuminen ja vaihtelut tilinpidon käytännön toteutuksessa eri maissa vaikeuttavat johtopäätösten tekemistä. (Jalas 2001a, 40) Vaikka luonnonvarapanosten käytöstä on vielä melko hyvin tilastoja, etenkin jäte- ja päästötilastot ovat usein puutteellisia (Eurostat 2001, 15, 35). Esimerkiksi Suomessa

jätevirtoja on alettu järjestelmällisesti seurata vasta 1990-luvun puolivälissä (Dahlbo ym. 2003, 10). Toisaalta joiltakin toimialoilta ei ole käytettävissä lainkaan dataa tietojen luottamuksellisuuden vuoksi (Muukkonen 2000).

Ainevirtoja voidaan kuvata fyysisillä panos-tuotos-taulukoidella (Physical Input-Output Tables, PIOT), kansantalouden ainetaseilla ja yksittäisillä ainevirtatileillä. Ne eroavat toisistaan datavaatimusten perusteella ja siinä, kuinka yksityiskohtaisesti ne kuvaavat ainevirtoja (Eurostat 2001, 12):

- **Fyysiset panos-tuotos-taulukot** ovat kattavin kuvaus materiaalivirroista, sillä ne mittaavat paitsi luonnon ja talouden välisiä ainevirtoja, myös talouden sisäisiä ainevirtoja eri toimialojen välillä. Panos-tuotos-taulukoissa kuvataan toimialoittain ja aineryhmittäin luonnonvarojen käyttöönottoa sekä syntyneiden jätteiden ja päästöjen määriä. (Eurostat 2001, 12) Panosten ja tuotosten välisen tasapainon erotus mittaa aineiden varastoitumisen taloudessa (Adriaanse ym. 1997, 9).
- **Kansantalouden ainetase** (Kuvio 6) on kokonaiskuvaus talouden ainepanoksista ja -tuotoksista sekä varantomuutoksista. Siinä ei kuitenkaan mitata talouden sisäisiä materiaalivirtoja, vaan ainoastaan luonnon ja talouden rajan ylittäviä ainevirtoja.
- Yksittäisiä **kansantalouden ainevirtatilejä** voidaan koota, vaikka kokonaistaseita ei pystyittäisikään muodostamaan vähäisten resurssien tai datan puutteellisuuden takia. Tilien perusteella voidaan jo laatia joitakin ainekäytön indikaattoreita. (Eurostat 2001, 12)





Kuvio 6 Kansantalouden ainetase (Eurostat 2001, 16; Mäenpää & Vanhala 2002, 36)

Kansantalouden ainetase koostuu seuraavista eristä (Mäenpää & Vanhala 2002, 36–37):

- **Suorat ainepanokset** (direct material inputs) ovat materiaaleja, jotka otetaan talouden tuotanto- tai kulutusprosessien käyttöön. Suoria panoksia ovat kotimaan luonnosta otettavat ainekset ja kotimaan rajan yli tuleva tuonnin ainemäärä.
- **Kotimaiset käyttämättömät aineotot** (unused domestic extraction) ovat kotimaassa muunnettuja tai siirrettyjä luonnonaineita, joita ei oteta talouden käyttöön. Niitä ovat esimerkiksi rakennustoiminnassa kaivantojen ylijäämämaa, kaivostoiminnan sivukivi ja hakkuutähteet eli puunkorjuun käyttämätön biomassa. Kotimaisia käyttämättömiä aineottoja kutsutaan myös kotimaisiksi piilovirroiksi. Piilovirta-termi kuvaa sitä, että kyseiset ainevirrat eivät yleensä näy taloudellisissa kustannuslaskelmissa.
- **Tuonnin välillinen ainekäyttö** tarkoittaa jossakin tuotantoprosessin vaiheessa tuontiin liittyviä ainepanoksia, joita ei fyysisesti tuoda maahan. Se sisältää jalostettujen tuontitavaroiden valmistuksessa ulkomailla käytetyt suorat panokset, jotka eivät sisälly tuontitavaran massaan. Välillistä ainekäyttöä on myös ulkomaiset käyttämättömät aineotot. Tuonnin välillinen ainekäyttö muodostaa tuonnin piilovirrat.

- **Tuotosjäämät kotimaan luontoon** sisältää joko tuotanto- tai kulutusprosessin aikana tai sen jälkeen luontoon päätyvät aineet kotimaassa. Yhden ryhmän muodostavat päästöt ja jätteet: päästöt ilmaan ja veteen sekä kiinteät jätteet. Toinen ryhmä koostuu tuotteiden hajakäytöstä ja menetyksistä luontoon. Hajakäytöllä tarkoitetaan luontoon tarkoituksella sijoitettuja aineksia, kuten lannoitteet, maanteiden hiekoitushiekka ja suola. Tuotteiden menetykset luontoon ovat kulumisjäämiä, kuten maantiepäilysteiden kuluminen ja rakennusten rapautuminen.
- **Vienti** sisältää raaka-aineet ja jalosteet, jotka poistuvat kotimaan taloudesta päätyvät kotimaan luontoon.
- **Viennin välillinen ainekäyttö** tarkoittaa vientiin liittyviä ainepanoksia, joita ei fyysisesti viedä maasta. Välilliset virrat ovat ”kehdestä hautaan” -panoksia, joita tarvitaan hyödykkeiden valmistamiseen, mutta jotka eivät sisälly itse hyödykkeeseen (Eurostat 2001, 22). Välillinen ainekäyttö sisältää sekä käytetyt että käyttämättömät materiaalit.
- **Varannot** (stocks) ovat talouden sisään jääviä aineita. Varannot muodostuvat tuotannollisesta pääomakannasta (rakennukset, koneet ja laitteet, kuljetusvälineet), kestokulutustavaroista (henkilöautot, kodinkoneet) sekä tilapäisistä tuotevarastoista. Varantojen nettokasvu syntyy varantoihin sitoutuvan ja niistä poistuvan ainemäärän erotuksena. (Mäenpää & Vanhala 2002, 36–37)

Ilma ja vesi jätetään ainevirtatilinpidon laskemien ulkopuolelle, koska ne ovat ns. virtasuureita toisin kuin muut luonnonainekset; ilman ja veden käyttö energiantuotannossa on niiden virtausenergian talteenottoa, eikä niinkään ilma- ja vesiaineksen hyväksikäyttöä. Lisäksi ilman ja veden kulutusmäärät ovat huomattavasti suurempia muihin ainevirtoihin verrattuna, joten ne hallitsisivat ainevirtatilejää. Toisaalta ainevirtatilinpitoon sisältyy materiaalien sisältämä ilma ja vesi. Esimerkiksi ilman tyyppiä on sitoutunut kemianteollisuuden tuotteisiin ja vettä on elintarvikkeissa ja muissa eloperäisissä tuotteissa. Tästä seuraa jonkin verran epä johdonmukaisuutta, sillä kotimaisiin luonnonvarapanoksiin ei lasketa ilman ja veden aineksia, mutta niitä sisältyy tuontituotteiden suoriin panoksiin. (Mäenpää ym. 2000, 11)

### 5.3. Ainevirtaindikaattorit dematerialisaation mittarina

Dematerialisaation edistäminen vaatii paitsi määrällisiä tavoitteita myös indikaattoreita, joilla kehitystä voidaan mitata. Erityisesti saksalainen Wuppertal-instituutti on kehittänyt ainevirtatilinpitoa ja luonnonvarojen kokonaiskäytön indikaattoreita dematerialisaation/ ekotehokkuuden mittaamiseksi. Ainevirtaindikaattorien hyödyntäminen poliittisessa päätöksenteossa on vasta kehittymässä. Sopivan indikaattorin valinta riippuu poliittisista prioriteeteista. Eurostatin (2001, 35) mukaan käyttökelpoisen indikaattorin tulisi täyttää seuraavat kriteerit:

- helposti ymmärrettävä
- helposti koottava
- tarvittava data saatavilla
- yhteensopiva kansantalouden tilinpidon kanssa
- sopiva poliittiseen päätöksentekoon
- eheä kokonaisuus.

Ainevirtaindikaattorit muodostetaan laskemalla yhteen eri materiaalien massat tonneina:

$$M_t = \sum_{i=1}^N M_{it} ,$$

missä  $M$  on aineen  $i$  paino ajanhetkellä  $t$  ja aineita on yhteensä  $N$  lajia. (Cleveland & Ruth 1999) Kaikilla aineilla on sama painoarvo, vaikka ne eroaisivat ominaisuuksiltaan ja potentiaalisilta ympäristövaikutuksiltaan (Adriaanse ym. 1997, 7).

#### 5.3.1. Luonnonvarojen kokonaiskäyttö TMR

Ensimmäinen kansainvälinen vertailututkimus tehtiin vuonna 1997, jolloin Adriaanse ym. (1997) tarkastelivat Yhdysvaltojen, Saksan, Hollannin ja Japanin luonnonvarojen kokonaiskulutuksen aikasarjoja vuosilta 1975–1994. He ehdottivat TMR-indikaattoria (Total Material Requirement) kansantalouden luonnonvarojen kokonaiskäytön mittariksi.



**Luonnonvarojen kokonaiskäyttö** (Total Material Requirement, TMR) mittaa kansantalouden käyttöönottamien luonnonvarojen kokonaismäärää yhteismitallisesti tonneina (Mäenpää ym. 2000, 9). Se keskittyy talouden ainekierron alkupäähän mittaamalla talouden materiaalien panoksia (Adriaanse ym. 1997, 9). TMR:n avulla voidaan tarkastella absoluuttista dematerialisaatiota.

TMR sisältää neljä pääryhmää:

- **kotimaiset suorat panokset:** kotimaan luonnosta talouden käyttöön otetut luonnonainekset,
- **kotimaiset piilovirrat:** kotimaisten suorien panosten oton tai rakentamisen yhteydessä tehdyt muut luonnonainesten siirrot ja muunnot,
- **tuonnin suorat panokset:** ulkomailta tuodut luonnonvarat sekä
- **tuonnin piilovirrat:** tuontituotteiden valmistukseen ulkomailla käytetyt suorat panokset ja piilovirrat, jotka eivät sisälly itse tuotteen ainesmäärään. (Adriaanse ym. 1997, 8; Mäenpää ym. 2000, 9)

Taulukossa 2 TMR on jaettu osatekijöihinsä, joita käytetään myös itsenäisinä indikaattoreina.

**Taulukko 2 Talouden luonnonvarojen käytön panosindikaattorit**

<b>PANOS (alkuperä)</b>
<b>Kotimainen luonnonvarojen käyttöönotto</b>
Biomassa (kasvit, puu, luonnoneläimet,...)
Mineraalit (malmi, kalkki,...)
Maa-ainekset (sora, murske, hiekka,...)
 Tuotoksiin sitoutuva ilman happi ja typpi
Tuotoksiin sitoutuva vesi
<b>+ Tuonti</b>
<b>= DMI – suorat aineelliset panokset</b>
<b>+ Käyttämätön kotimainen luonnonaines</b>
Biomassa korjuusta
Mineraalien kaivusta
Maansiirroista
<b>= TMI – aineellinen kokonaispanos</b>
<b>+ Tuonnin välilliset luonnonainepanoset</b>
<b>= TMR – luonnonainesten kokonaiskäyttö</b>

(Mäenpää & Vanhala 1995, 39; Eurostat 2001, 25)

Kotimaiset ja tuonnin suorat panokset muodostavat talouden käyttöön otetun ainemäärän eli **suorat aineelliset panokset** (Direct Material Input, DMI). **Aineellinen kokonaispanos** (Total Material Input, TMI) sisältää kotimaiset ja tuonnin suorat panokset sekä kotimaiset piilovirrat. Se mittaa kotimaan ympäristökuormituspotentiaalia. Tuonnin piilovirrat taas osoittavat talouden ns. globaalin lisäselkäreun eli tuonnin ympäristövaikutukset ulkomailla. (Mäenpää ym. 2000, 9)

Luonnonvarojen kokonaiskäytön käsitettä käytetään materiaalivirta-analyysin apuvälineenä eri tavoin. Taulukossa 3 on esitetty, millaisia mittareita voidaan johtaa luonnonvarojen kokonaiskäytöstä talouden ainevirtojen analysoimiseksi.

### **Taulukko 3 Materiaalivirta-analyysin välineitä**

1. TMR per capita
2. TMR/BKT
3. DMI/BKT
4. TMR teollisuuden aloittain
5. DMI:n ja piilovirtojen osuus TMR:stä
6. Viennin ja kotimaisen hyödyntämisen osuus TMR:stä

(mukaillen Hoffrén 1998, 26)

Taulukon kolmea ensimmäistä mittaria – TMR per capita, TMR/BKT ja DMI/BKT – käytetään talouden materiaali-intensiteettikehityksen arviointiin. Talouden rakenteita voidaan analysoida jakamalla TMR toimialoittain tai materiaalilajeittain sekä tarkastelemalla suorien panosten ja piilovirtojen osuuksia. (Hoffrén 1998, 26–27) Viennin osuus TMR:stä kertoo, kuinka paljon luonnonvarojen kokonaiskäytöstä päätyy ulkomaiseen loppukulutukseen. Tuontia tarkastelemalla voidaan arvioida, kuinka omavarainen kansantalous on luonnonvarojen suhteen. On syytä huomata, että jos eri maiden TMR:t lasketaan yhteen, ulkomaankauppa tulee laskettua kahteen kertaan, koska TMR sisältää sekä tuonnin että viennin luonnonvarat (Mäenpää ym. 2000, 84).

Adriaansen ym. (1997, 8) mukaan TMR antaa parhaan yleisarvion talouden aiheuttamasta potentiaalisesta ympäristörasituksesta, joka liittyy luonnonvarojen käyttöönottoon ja kulutukseen.

Kokonaisindikaattorina TMR ei kuitenkaan sovellu yksittäisten ympäristövaikutusten arviointiin, vaan tällöin on tarkasteltava TMR:n osatekijöitä ja niiden ympäristövaikutuksia.

Luonnonvarojen kokonaiskäytöstä on erotettu erillinen kotimaista loppukäyttöä kuvaava indikaattori, **luonnonvarojen kokonaiskulutus** (Total Material Consumption, TMC). Se mittaa kotimaassa kulutettuihin tuotteisiin käytetyt luonnonvarat. TMC saadaan vähentämällä luonnonvarojen kokonaiskäytöstä vientituotteiden luonnonvarasisältö (TME):  $TMC = TMR - TME$ . TMC ei ole kuitenkaan kovin yleisesti käytetty indikaattori, sillä vientituotteiden luonnonvarasisällön mittaaminen on työläs prosessi ja vaatii laajan datapohjan. (Mäenpää ym. 2000, 71) Tällainen kulutuslähtöinen tarkastelutapa täydentää TMR:n tuotantolähtöistä näkökulmaa luonnonvarojen käytöstä (Mäenpää 2005, 74).

### **5.3.2. Materiaali-intensiteetti**

**Materiaali-intensiteetti** mittaa luonnonvarojen käytön suhdetta talouden kehitykseen. Sitä on tavallisesti tutkittu suhteuttamalla suorat luonnonvarapanokset bruttokansantuotteeseen (DMI/BKT). Adriaanse ym. (1997, 2) kuitenkin kannattavat TMR:n käyttöä materiaali-intensiteetin mittaamiseen, sillä se ottaa huomioon suorien panosten lisäksi myös piilovirrat. TMR/BKT on suhteellisen dematerialisaation indikaattori, jonka avulla voidaan tarkastella luonnonvarojen käytön irtikytkentää talouskasvusta. Luonnonvarojen tuottavuus on sitä parempi, mitä pienempi on materiaali-intensiteetti. Kun fyysiset mittarit (TMR) yhdistetään rahamääräisten indikaattorien (BKT) kanssa, saadaan monipuolisempi kuva talouden koosta, rakenteesta ja toiminnan vaikutuksista (Mt. 8).

Ekotehokkuusindikaattorien tulisi näyttää, kuinka annetulla resurssien käytöllä tai ympäristövaikutuksella tuotetaan enemmän (Hoffrén 2001, 50). TMR soveltuu kannattajiensa mukaan ekotehokkuuden panosindikaattoriksi, sillä se korreloi monien ympäristövaikutusten kanssa. TMR:n kaltaiset indikaattorit eivät kuitenkaan sovellu pitkäaikaisten trendien tarkasteluun tai kansainvälisten vertailujen tekemiseen, sillä ne eivät anna täydellistä kuvaa ympäristöongelmien trendeistä tai syistä. (OECD 1998, 41)



TMR:n kaltaisilla kokonaisindikaattoreilla voidaan mitata luonnonvarojen käytön vähentämiseksi asetettujen tavoitteiden saavuttamista. Tarvitaan yksityiskohtaista tietoa fyysisistä ainevirroista ja kehityssuunnista, jotta voidaan suunnitella ja hallita tehokkaampia ja kestäväen kehityksen mukaisia talousjärjestelmiä ja poliittisia toimenpiteitä. (Adriaanse ym. 1997, 9) Tuottavuusindikaattorit ja -tavoitteet kansallisella tasolla ovat hyödyllisiä, kun ohjataan valtion toimia kestäväen kehityksen edistämiseksi. Valtion ohjauskeinoilla pyritään kuitenkin yleensä parantamaan ympäristön tilaa eikä suoranaisesti lisäämään tuottavuutta. Jos tavoitellaan pelkästään tehokkuutta, siihen liittyy riski, että taloustoiminnan kasvu ylittää saavutetut parannukset tuotantoyksiköiden ympäristövaikutuksissa. (OECD 1998, 39) Tehokkuus- ja intensiteetti-indikaattorit ovat tärkeitä tuotteiden, palvelujen, yritysten ja toimialojen vertailussa. Ainevirtoja ja ympäristön tilaa kuvaavat indikaattorit taas ovat hyödyllisempiä kansallisen ja kansainvälisen kestäväen kehityksen mittaamiseen. (Mt. 70)

Ainevirtaindikaattorit eivät ole täysin yhteensopivia taloudellisten indikaattorien kanssa. Ne käsittelevät tuontia ja vientiä eri logiikalla kuin yleisimmin vertailukohtana käytetty bruttokansantuote. Kansantalouden tilinpidossa kauppataase määritellään eri tavalla kuin ainevirtojen kauppataase (Vehmas ym. 2003).

Mäenpään ym. (2000, 71) mukaan TMR:n jakaminen BKT:n suhteen tekee materiaali-intensiteetistä jossain määrin harhaisen indikaattorin. Tuotteiden loppukäytöllä mitattuna bruttokansantuote muodostuu seuraavasti:

$$\text{BKT} = C + G + I + (E - M),$$

missä C = yksityinen kulutus, G = julkinen kulutus, I = pääomanmuodostus, E = vienti ja M = tuonti. Toisaalta tuotannolla mitattuna BKT on toimialojen arvonlisäysten summa, joka saadaan vähentämällä tuotteiden arvosta niiden välituotekäyttö. Siirtämällä tuonti yhtälön vasemmalle puolelle saadaan ns. huoltotaseyhtälö:

$$\text{BKT} + M = C + G + I + E,$$

missä kotimainen tuotanto (BKT) ja tuonti (M) muodostavat yhtälön vasemmalla puolella tarjonnan ja yhtälön oikea puoli vastaa tuotteiden loppukäyttöä.

Luonnonvarojen kokonaiskäyttö voidaan jakaa kotimaiseen ja ulkomaiseen osaan:

$$TMR = TMR_d + TMR_m ,$$

missä  $TMR_d$  on kotimaisten luonnonvarojen käyttöönotto ja  $TMR_m$  on tuonnin luonnonvarojen käyttö. Koska luonnonvarojen käyttö jakautuu lopputuotteiden ( $C + G + I + E$ ) tuottamiseen, harhattomampi materiaali-intensiteetin mittari saataisiin jakamalla TMR joko lopputuotteiden

käytön tai tuotannon suhteen:  $\frac{TMR}{C + G + I + E} = \frac{TMR}{BKT + M}$ . (Mäenpää ym. 2000, 71–72)

Suomessa on laman jälkeen ollut pitkäaikainen merkittävä ulkomaanvaihdon ylijäämä, jolloin BKT:n yhtälössä ( $E - M$ ) on positiivinen. Talouden avautuminen kasvattaa viennin ja tuonnin osuutta taloudessa. Ulkomaanvaihdon lisääntyessä TMR kasvaa, sillä se sisältää viennin ja tuonnin ainevirrat. Pitkän aikavälin tasapainossa  $E$  ja  $M$  ovat suurin piirtein yhtä suuret eli niiden erotus ( $E - M$ ) lähestyy nollaa.<sup>11</sup> Jos viennin ja tuonnin arvot kasvavat samaa vauhtia, BKT pysyy muuttumattomana.  $TMR/BKT$  pyrkii tällöin kohoamaan ulkomaanvaihdon ainevirtojen eli TMR:n kasvun myötä. (Mäenpää ym. 2000, 72)

Vaikka ulkomaanvaihdon kasvu nostaa TMR:ää yhdessä maassa, se ei välttämättä lisää globaalia luonnonvarojen kokonaiskäyttöä, lukuun ottamatta lisääntyvien kuljetusten vaikutuksia. Jos tuotanto ohjautuu maihin, joissa luonnonvaroja käytetään tehokkaimmin, maailmantalouden luonnonvarojen kokonaiskäyttö voi laskea ulkomaankaupan kasvun myötä. (Mäenpää ym. 2000, 72)

#### 5.4. Ainevirtojen ympäristövaikutukset ja massa mittayksikkönä

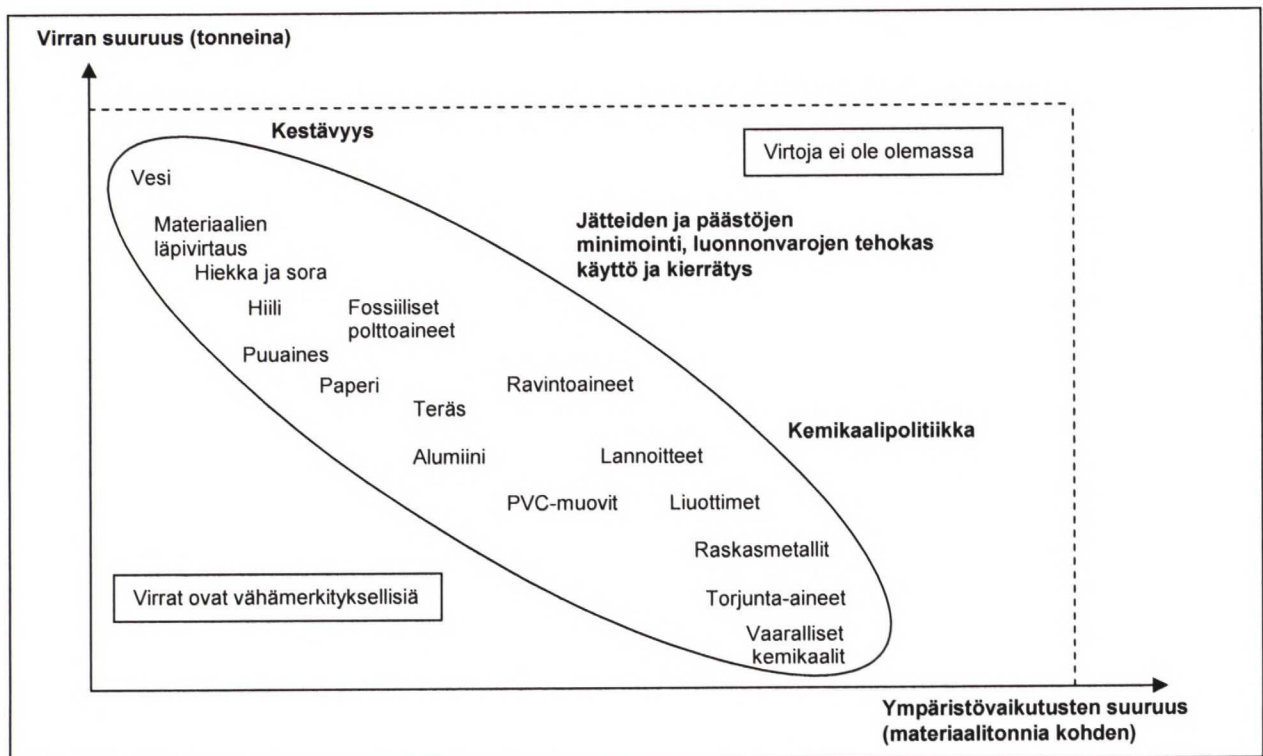
Ainevirtojen mittaamiseen liittyy menetelmällisiä kiistanalaisuuksia, vaikka ainevirtojen merkitys ihmisen aiheuttaman ympäristörasituksen indikaattorina on yleisesti hyväksytty (Jalas 2001a, 40). Materiaalitonniin yhteismitallista laskemista on kritisoitu eniten siitä, että aineita ei lainkaan erotella niiden haitallisuuden mukaan. Tätä pidetään ainevirtaindikaattorien merkittävimpänä heikkoutena. Muutamat suuret ainevirrat (esim. kaivos- ja rakennustoiminnan kivi- ja maa-aines)

<sup>11</sup> ”Täsmälleen tämä ei pidä paikkaansa, koska talouden vaihtotaseeseen sisältyvät viennin ja tuonnin lisäksi myös tuotannontekijätulot ja tulonsiirrot sekä lisäksi volyymisarjoissa vaihtosuhteen muutokset eliminoituvat.” (Mäenpää ym. 2000, 72)

dominoivat indikaattoreita, kun taas painoltaan erittäin pienet ainevirrat (esim. raskasmetallit tai synteettiset orgaaniset kemikaalit) hädin tuskin erottuvat kokonaiskäytöstä (Matthews ym. 2000, 2). Tonni luontoon joutunutta ongelmajätettä aiheuttaa todennäköisesti enemmän vahinkoa kuin tonni rakennustoiminnan siirtomaata.

Kuviossa 7 on havainnollistettu ainevirtojen suuruuden ja ympäristövaikutusten yhteyttä. Ellipsin alapuolella olevilla ainevirroilla ei ole suurta merkitystä määrältään eikä ympäristövaikutuksiltaan, ja ellipsin yläpuolella ainevirtoja ei ole. Ainevirrat voidaan jakaa kolmeen ryhmään niitä koskevan ympäristöpolitiikan tavoitteiden mukaan (Hoffrén 1998, 28):

1. hyvin myrkyllisten aineiden pienet ainevirrat, joita valvotaan kemikaalipolitiikalla,
2. perusteellisuuden raaka-aineet, joiden käytön tehokkuutta halutaan parantaa, kierrätystä lisätä ja jätteiden syntymistä ehkäistä, sekä
3. suuret, mutta myrkyttömät materiaalivirrat, joiden käyttöä ohjataan kestävän kehityksen mukaisesti.



**Kuvio 7** Materiaalien kiinnostavuus materiaalivirtatilinpidoon laadinnan kannalta (Hoffrén 1998, 28)



Dahlbon ym. (2003, 31) mukaan materiaalitonnien yhteenlaskeminen sisältää oletuksen, että sama määrä eri materiaaleja aiheuttaa yhtä suuret vaikutukset ympäristöön. Matthews ym. (2000, 2) kuitenkin painottavat, että aineiden yhteenlaskeminen painon mukaan ei tarkoita niiden samanarvoisuutta. Ainevirtaindikaattorit ovat vain yksi tapa kuvata talouden fyysisiä ominaisuuksia siinä missä BKT:n kaltaisilla talousindikaattoreilla kuvataan talouden rahavirtoja. Tästä lähtökohdasta fyysiset materiaalitilit ovat arvoneutraaleja riippumatta aineiden ympäristövaikutuksista tai taloudellisesta merkityksestä. Tosin subjektiivisuudeltaan ei heidän mukaansa voida täysin välttyä, sillä esimerkiksi makean veden käyttö on jätetty tarkastelujen ulkopuolelle, koska se ylittäisi suuruudellaan kaikki muut ainevirrat.

Wernick ym. (1996) toteavat, ettei aineellista kulutusta voida tyydyttävästi mitata painon mukaan. Uusia materiaaleja käyttämällä pystytään valmistamaan yhä kevyempiä tuotteita. Esimerkiksi autot ja tietokoneet ovat keventyneet erilaisten muoviyhdisteiden käytön yleistymisen myötä. Elektroniikkateollisuudessa käytetään yhä enemmän pieniä määriä sellaisia aineita kuin gallium ja vanadium. Niiden osuuden mittaaminen pelkän massan perusteella aliarvioi aineiden taloudellisen merkityksen ja ympäristövaikutukset. Tämän vuoksi on huomioitava myös aineottoon sisältyvät piilovirrat. Lisäksi monimutkaisten yhdisteiden kierrätys ja uusiokäyttö on hankalampaa perusmateriaaleihin verrattuna.

Myös Cleveland ja Ruth (1999) kyseenalaistavat ainevirtojen summaamisen niiden painon mukaan. Niin aineelliset panokset kuin jätteet eroavat laadultaan ja ympäristövaikutuksiltaan, eikä niiden määrän väheneminen tonneissa mitattuna tarkoita automaattisesti pienempiä ympäristöhaittoja. Heidän mukaansa aineiden erilaiset ominaisuudet ja käyttötarkoitukset tulisi huomioida painokertoimien avulla:

$$M_i^* = \sum_{i=1}^N \lambda_{ii} M_{ii} ,$$

missä  $\lambda$  on laatutekijä, joka voi vaihdella aineen ja ajanhetken suhteen. Kokonaisainekäytön indikaattorin tulisi heidän mielestään ottaa huomioon aineiden suhteelliset hinnat, teknologia, tulot, preferenssit ja muut käyttäjien päätöksiin vaikuttavat valintakriteerit. Painokertoimien tulisi kuvastaa myös eri aineiden korvattavuutta. Cleveland ja Ruth eivät kuitenkaan kerro, miten

painokertoimet käytännössä määriteltäisiin. Luokittelu ominaisuuksien perusteella olisi hyvin subjektiivista ja vaatisi yksityiskohtaista tietoa aineiden ja ympäristön vuorovaikutussuhteista sekä käyttäjien preferensseistä. Ominaisuuksien erittely voisi olla hyödyllistä tuote- tai yritystasolla eri materiaalien vertailussa. Kansantalouden tasolla näin mittava aineiden erottelu ei kuitenkaan olisi järkevää sen vaatiman valtavan työmäärän vuoksi, sillä jo painon perusteella ainevirtojen tilinpito on monimutkaista ja suuritöistä. Hoffrén ym. (2000) toteavatkin, että ilman yksinkertaista laskentamenetelmää ei pystyttäisi tekemään makrotason analyysejä ja kansainvälisiä vertailuja luonnonvarojen käytöstä.

Ympäristövaikutusten arvottaminen on erittäin vaikeaa (Dahlbo ym. 2003, 7). Adriaansen ym. (1997, 6) mukaan on mahdotonta etukäteen tietää, mitkä ainevirrat ovat ympäristölle haitallisia. Materiaaleja ei ole järkevää luokitella niiden haitallisuuden perusteella, koska kaikkeen luonnonvarojen käyttöön saattaa liittyä merkittäviä ympäristömuutoksia. Aineen haitallisuuteen vaikuttaa tarkastelunäkökulma ja paikallisen ympäristön ominaispiirteet. Esimerkiksi kosteikkoalueen täyttäminen moottoritien rakentamista varten ei välttämättä ole tragedia maailmanlaajuisesti tai edes kansallisesti, mutta se voi olla menetys paikallisesta näkökulmasta. Lisäksi aineilla on yleensä sekä positiivisia että negatiivisia vaikutuksia (Matthews ym. 2000, 9). Esimerkiksi maanviljelyssä tärkeä tyyppi muuttuu pohjaveteen joutuessaan haitalliseksi. Ainevirtojen kulku taloudessa ja luonnossa on niin monimutkaista, että oikean kokonaiskuvan saaminen luokittelua varten olisi erittäin vaikeaa.

Myös Mäenpään ym. (2000, 8) mielestä eri aineiden haitallisuuskertoimille ei ole selkeitä perusteita. Ympäristöhaitat johtuvat hyvin paljon käytettävien materiaalien prosessointitavasta. He ehdottavatkin, että olisi järkevämpää jakaa kokonaiskäyttö aineryhmiin, joille sitten johdettaisiin omat ympäristökuormituskertoimet. Tällöin saataisiin parempi kuva ympäristörasituksen syistä ja voitaisiin myös ennakoida tulevaa kehitystä. Dahlbon ym. (2003, 9) mukaan vaikutukseltaan erilaiset materiaaliryhmät lisäisivät TMR:n käyttökelpoisuutta, kun ympäristöhaittojen ennaltaehkäisyä voitaisiin kohdentaa sinne, missä toimenpiteitä eniten tarvitaan.

Mittaamalla luonnonvarojen käyttöä massan mukaan vältetään myös hinnoitteluongelmilta. Monilla luonnonvaroilla ei ole markkinahintaa, joten niiden arvon määrittäminen olisi erittäin hankalaa. Rahamääräisen arvon käyttö ei myöskään antaisi mahdollisuutta arvioida yhtä kattavasti sellaista luonnonvarojen käyttöä, jolla ei ole taloudellista merkitystä. Tosin myös massan mittaamiseen liittyy monenlaisia ongelmia esimerkiksi eloperäisten aineiden kosteusvaihteluiden vuoksi (Mäenpää ym. 2000, 11) (ks. esim. Mäenpää 2005, 20–24).

Ekotehokkuuteen sisältyy julkilausumaton taustaoletus, että ympäristöpolitiikalla huolehditaan uhkista, joita vaaralliset aineet aiheuttavat ympäristölle ja ihmisten hyvinvoinnille (Hoffrén 1999, 129). Vaikka pieni määrä hyvin myrkyllistä ainetta aiheuttaisikin vakavamman ympäristöongelman kuin suuret ainevirrat, se ei estä TMR:n ja muiden ainevirtaindikaattoreiden käyttöä.

TMR:n kaltaisia vahvasti aggregoituja ainevirtaindikaattoreita ei tulisi tulkita suoraan ympäristövaikutuksen mittareina. Suuret ainevirrat eivät ole automaattisesti haitallisia tai pienet virrat hyviä. Matthews ym. (2000, 2) ja Mäenpää ym. (2000, 8) pitävät luonnonvarojen kokonaiskäyttöä lähinnä ympäristökuormitusta ennakoivana ja selittävänä indikaattorina. Se on hyödyllinen ns. varovaisuusperiaatteen mukaisena yleisindikaattorina, koska kaikkien päästöjen ympäristövaikutuksia ei tiedetä etukäteen. Tausta-ajatuksena on ennaltaehkäistä ympäristöhaittoja käyttämällä vähemmän luonnonvaroja, jotka lopulta päätyvät luontoon päästöinä ja jätteinä.

Maankäyttö on yksi esimerkki suurista ainevirroista, joista ei voi suoraan päätellä niiden haitallisuutta. Maankäytöllä tarkoitetaan ”kaikkea sellaista ihmisen toimintaa, joka saa aikaan muutoksia ympäristössä” (Dahlbo ym. 2003, 10) Raaka-aineiden hankintaan, tuotantoon ja jätteiden loppusijoitukseen liittyvää maankäyttöä on muun muassa maa- ja metsätalous, kiinteistöjen, teiden ja rantojen rakentaminen ja maa-ainesten otto. Maankäytön ympäristövaikutukset riippuvat kuitenkin maankäyttömuodoista (teollisuusalue tai virkistysalue) ja alueen ominaisuuksista (rehevä metsä tai karu tunturi). Herkillä biotoopeilla maankäytön vaikutukset ovat voimakkaampia. (Dahlbo 2003, 10) Maankäyttö vaikuttaa erityisesti lajien monimuotoisuuteen muuttamalla elinolosuhteita. Maa- ja metsätalouden maankäyttö aiheuttaa



muun muassa eroosiota. Toisaalta voidaan ajatella, että luonnonvarojen kulutus ja maankäyttö eivät ole sellaisenaan luettavissa ympäristövaikutuksiin, ellei niistä aiheudu konkreettisia päästöjä. Kuitenkin käytännössä on erittäin vaikea arvioida tai kerätä dataa esimerkiksi raaka-aineiden hankinnan (maatalous, metsätalous, kaivostoiminta) aiheuttamista päästöistä. Tämän vuoksi maankäyttöä mitataan tutkimuksissa yleensä pinta-alana päästöjen sijasta. (Helminen 1998, 53)

Reijndersin (1998) mielestä TMR on riittävän hyvä dematerialisaation mittari. Sen avulla voidaan tarkastella luonnonvarojen kokonaiskäytön kehitystä ja sitä kuinka tehokkaasti kansantalous käyttää luonnonvaroja (Matthews ym. 2000, 3). Poliittisessa päätöksenteossa kokonaisindikaattori ei kuitenkaan tarjoa riittävän tarkkaa tietoa, vaan sitä varten on analysoitava yksityiskohtaisemmin yksittäisiä ainevirtoja.

On syytä muistaa, että TMR mittaa talouden luonnonvarapanoksia, ei jätteitä tai päästöjä. Raaka-ainetonniin laskemiseen ei näin ollen välttämättä liity samanlaisia ongelmia kuin ympäristövaikutuksiltaan erilaisten päästöjen ja jätteiden mittaamiseen. Tämän vuoksi on ehkä tärkeämpää mitata ja erotella ympäristövaikutuksia tuotoksissa kuin panoksissa. Periaatteellinen kysymys liittyy siihen, tulisiko tarkastella luonnonvarapanosten koko elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia vai pelkästään käyttöönotossa syntyneitä vaikutuksia. Tähän liittyen voidaan kysyä, pitäisikö esimerkiksi ydinpolttoaine erotella muista ainetonneista sen vuoksi, että sen käytönjälkeiset haittavaikutukset ovat niin ongelmallisia. Toisin sanoen: vaikka kaikkien aineiden vaikutuksia ympäristöön ei tunneta, pitäisikö tällaisia kiistatta haitallisia aineita mitata erikseen? Aineiden erottelutarpeen määrittää siis pääasiassa se, mittaako TMR yleisesti ympäristövaikutuksia vai luonnonvarojen käytön vähenemistä.

## 6. SUOMEN LUONNONVAROJEN KOKONAISKÄYTTÖ

### 6.1. Analyysin tavoitteet ja tutkimusaineisto

Tässä luvussa analysoin luonnonvarojen käyttöä vertaamalla aiheesta tehtyjen tutkimusten antamaa kuvaa materiaalien kulutuksesta Suomessa. Aluksi tarkastelen Suomen välitöntä luonnonvarojen käyttöä eli suoria aineellisia panoksia. Tämän jälkeen tutkin piilovirtojen merkitystä. Lisäksi on tärkeää selvittää tuonnin ja viennin vaikutusta luonnonvarojen käyttöön, koska pienenä avotaloutena ulkomaankaupalla on suuri merkitys Suomelle. Kun olen arvioinut erikseen luonnonvarojen kokonaiskäytön osa-alueita, tarkastelen TMR:n perusteella Suomen dematerialisaatiota ja materiaali-intensiteettiä. Lopuksi vertaan luonnonvarojen kokonaiskäyttöä päästökehitykseen Suomen ekotehokkuudesta tehdyn tutkimuksen perusteella.

Yhdistelen analyysissä viiden eri tutkimuksen mittaustuloksia Suomen luonnonvarojen käytöstä:

1. **Mäkelä (1985)** on tarkastellut primäärimateriaalien käytön, materiaali-intensiteetin sekä ulkomaisen materiaalitaseen kehitystä Suomessa vuosina 1960–1980. Hän on myös arvioinut materiaalien kysyntään ja materiaali-intensiteetin laskuun vaikuttavia tekijöitä sekä ennustanut raaka-aineiden käytön vuoteen 2000.
2. **Laineen (1994)** selvitys materiaalien käytöstä vuosina 1960–1991 (**Liite 2**) on jatkoa Mäkelän tutkimukselle. Mäkelä ja Laine ovat tarkastelleet muun muassa uusiutuvien ja uusiutumattomien materiaalien käyttöä suhteessa kansantuotteeseen. Laineen aikasarjassa vuosien 1960–1980 arvot ovat peräisin Mäkelän tutkimuksesta.
3. **Hoffrén (2001)** on arvioinut tonnimääräisesti suurimpien materiaaliryhmien käyttöä vuosina 1960–2000 (**Liite 3**) tutkiessaan Suomen ekotehokkuuden kehitystä. Hän on päivittänyt tiedot alkuperäisistä laskelmistaan (1997). Mäkelä ja Laine ovat tutkineet raaka-aineiden käyttöä, kun taas Hoffrénin selvitys keskittyy ihmisen hyvinvoinnin edellyttämien primäärimateriaalien kulutukseen.
4. **Mäenpää ym. (2000)** ovat analysoineet Suomen luonnonvarojen kokonaiskäyttöä (TMR) vuosina 1970–1997 Ekotehokas Suomi -projektissa (Mäenpää & Juutinen 2002). Myöhemmin päivitetty aikasarja sisältää vuodet 1970–1999 (**Liite 4-6**). Projektissa laadittiin myös panos-tuotosmalli vuodelle 1995, jossa tarkastellaan eri sektoreiden

luonnonvarojen käyttöä ja materiaali-intensiteettiä. Projektin pääraportin lisäksi tulokset on julkaistu Suomen luonnonvarojen käytön aikasarjoina Excel-laskentatietokantana (TMRFIN1.2), jota on käytetty tämän tutkielman lähdeaineistona.

5. **Dahlbo ym. (2003)** ovat tutkineet Suomen ekotehokkuutta vertaamalla luonnonvarojen kokonaiskäyttöä (TMR) ympäristökuormitusindikaattorien aikasarjoihin 1980–1997.

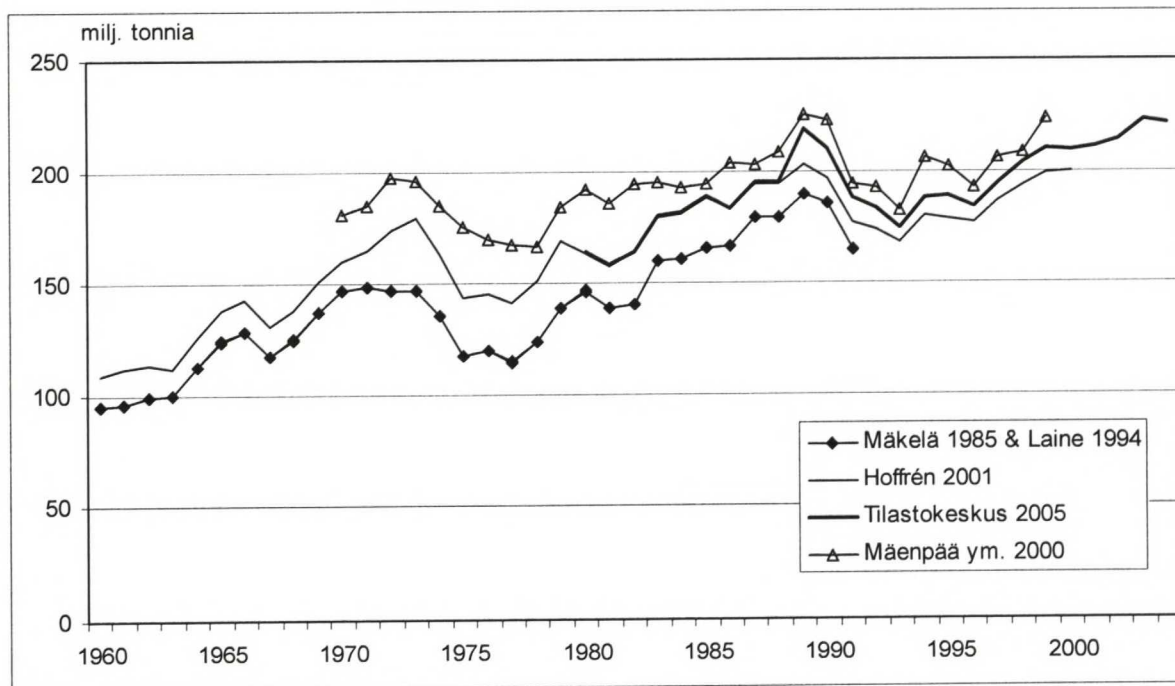
Lisäaineistona käytön Tilastokeskuksen (2005, 60) julkaisemaa tilastoa materiaalien kokonaiskulutuksesta vuosina 1980–2004 (**Liite 7**). Viimeisin julkaisu aiheesta on Tilastokeskuksen ja Thule-instituutin (Mäenpää 2005) yhteishankkeena laadittu Suomen ainetase vuodelle 1999, jossa aikaisempaan panos-tuotosmalliin on yhdistetty jätetilastot.

## 6.2. Suorat aineelliset panokset

TMR:n pääeristä kotimaiset ja tuonnin suorat aineelliset panokset muodostavat talouden käyttöön otetun ainemäärän (Direct Material Input). Tarkasteltavissa tutkimuksissa on luotu aikasarjat Suomen välittömästä luonnonvarojen käytöstä vuodesta 1960 lähtien. Mäkelän (1985) ja Laineen (1994) laskelmiin sisältyvät luonnosta saatavat uusiutuvat ja uusiutumattomat primääriraaka-aineet (kasvinviljelytuotteet, raakapuu, sora, teollisuusmineraalit, energiamineraalit ja turve sekä metallit). Hoffrénin (2001) materiaalien kokonaiskulutus sisältää tonnimääräisesti suurimmat primäärimateriaalit (kaivannaiset, kiviaines, puuaines, fossiiliset polttoaineet, viljeltyt tuotteet ja muut varat). Mäenpään ym. (2000) tutkimus antaa Suomen luonnonvarojen käytöstä kattavimman kuvauksen. Tässä yhteydessä selvityksestä tarkastellaan kotimaisia ja tuonnin suorita panoksia (pääryhmät: maatalous ja kalastus (kasvit ja luonnoneläimet), metsätalous (puu), mineraalit, rakentamisen maa-ainekset ja tuontijalosteet).

Kuviossa 8 on esitetty eri tutkimusten aikasarjat Suomen suorista ainepanoksista. Kuviossa on kuvattu myös Tilastokeskuksen (2005, 60) tilasto materiaalien kokonaiskulutuksesta vuosina 1980–2004. Kulutukseen sisältyviä materiaalityyppejä ei ole tilastossa kuitenkaan tarkemmin eritelty.





**Kuvio 8 Eri tutkimusten arviot luonnonvarojen käytöstä Suomessa 1960–2004**

(Tiedot: Laine 1994, 35; Hoffrén 2001, 171–172; Mäenpää ym. 2000: TMRFIN1.2; Tilastokeskus 2005, 60)

Kuviosta nähdään, miten arviot luonnonvarojen käytöstä noudattavat suhteellisen samanlaista kehityskulkua, vaikka tonnimäärissä on eroja. Materiaalien kulutus kasvoi Suomessa 1960-luvulla nopeasti aina ensimmäiseen öljykriisiin asti. Kasvua vauhdittivat nopea teollisuuden kehitys, rakennustoiminnan vilkkaus sekä raaka-aineiden ja energialähteiden laskevat hinnat. Lisäksi jalostusta pyrittiin siirtämään kotimaahan tuontia korvaavalla teollisuuspolitiikalla, mikä kasvatti primäärimateriaalien käyttöä Suomessa. (Mäkelä 1985, 15, 25) Materiaalien kulutushuippu saavutettiin vuonna 1973. Ensimmäisen öljykriisin aiheuttaman laman seurauksena luonnonvarojen käyttö laski lähes neljänneksen. 1970-luvun lopulla alkoi uusi nousukausi materiaalien kulutuksessa ja se jatkui melko tasaisesti vuoteen 1989 asti. Tuolloin luonnonvarojen käyttö oli jo lähes kaksinkertainen vuoden 1960 kulutukseen verrattuna. 1990-luvun lama vähensi materiaalien käyttöä aina vuoteen 1993 asti, yhteensä noin 20 prosenttia huippuvuodesta 1989. 1990-luvun loppupuolella kulutus kääntyi taas kasvuun. Lamaa edeltäneen kulutushuipun taso saavutettiin jälleen 2000-luvun alussa suorien panosten käytön jatkaessa kasvuaan. Taulukkoon 4 on koottu luonnonvarojen käyttö tonneina edellä mainituilta vuosilta, jotta nähdään tarkemmin erot tutkimusten välillä.

**Taulukko 4 Eri tutkimusten arviot luonnonvarojen käytöstä Suomessa, miljoonaa tonnia**

	1960	1973	1977	1989	1993	1999	2000	2003	2005
<b>Mäkelä 1985 &amp; Laine 1994</b>	94,9	147,0	114,6	189,6			144,2 165,7*		180,1**
<b>Hoffrén 2001</b>	108,7	179,1	141,7	203,2	167,4	199,0	199,6		
<b>Tilastokeskus 2005</b>				218,6	174,5	210,3	209,5	222,8	
<b>Mäenpää ym. 2000</b>		195,9	167,1	225,2	182,0	223,9			

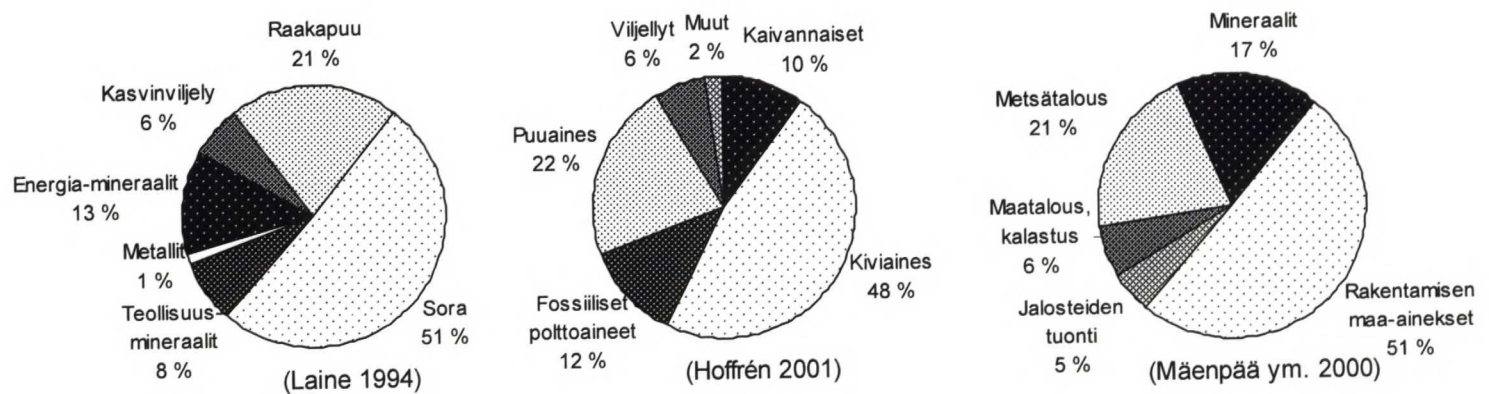
\* Mäkelän ennuste vuodelle 2000 hitaan kasvun (144,2) ja nopean kasvun (165,7) mukaan

\*\* Laineen ennuste vuodelle 2005

Jokaisessa tutkimuksessa tekijät ovat todenneet tulostensa kuvaavan luonnonvarojen/materiaalien kokonaiskäytön tasoa Suomessa. Taulukosta on kuitenkin havaittavissa, että eri tutkimusten tonnimääräisissä arvoissa on merkittäviä eroja, vaikka suhteelliset muutokset ovat samaa suuruusluokkaa. Vertailu osoittaa, että luonnonvarojen käytön tonnimääriin kannattaa suhtautua varauksella. Erot johtuvat pääasiassa siitä, mitä materiaaliryhmiä laskemissa on otettu huomioon. Mäenpään ym. (2000) selvitys on kattavin materiaaliryhmien määrässä mitattuna, joten on luonnollista, että tutkimus antaa myös korkeimmat tulokset luonnonvarojen käytöstä. Ero Mäkelän (1985) ja Laineen (1994) tuloksiin on keskimäärin 46 miljoonaa tonnia. Hoffrénin (2001) dataan verrattuna eroa on keskimäärin 20 miljoonaa tonnia (7–30 miljoonaa tonnia).

Taulukosta voidaan päätellä, että ennusteet materiaalien käytöstä Suomessa ovat tähän mennessä osoittautuneet liian optimistisiksi. Mäkelä (1985) ennusti primäärimateriaalien käytön olevan nopean kasvun tapauksessa 165 miljoonaa tonnia vuonna 2000. Ennuste kuitenkin ylittyi Laineen laskelmien mukaan jo kymmenen vuotta aiemmin eli materiaalien käyttö kasvoi 1980-luvulla selvästi odotettua nopeammin. Laine (1994, 19, 22) taas ennusti käytön laskevan 180 miljoonaan tonniin vuoteen 2005 mennessä. Hän perusteli ennustettaan tuotannon painopisteen siirtymisellä materiaali-intensiivisiltä aloilta teknologian, informaatiotekniikan ja palvelujen suuntaan. Lisäksi teollisuuden ja infrastruktuurin rakentamisen kausi oli Laineen mukaan jo takanapäin, minkä hän oletti vähentävän materiaalien kulutusta. Laman jälkeinen nousukausi 90-luvulla käänsi kuitenkin luonnonvarojen käytön taas kasvuun, eikä 2000-luvun alkuvuosien kehityksen perusteella käytössä ole odotettavissa laskua.

Tonnimäärien sijasta on hyödyllisempää tarkastella luonnonvarojen käytön ajallista kehitystä sekä käytön rakennetta materiaaliryhmittäin. Kuvio 9 esittää suorien aineellisten panosten jakautumisen materiaaliryhmittäin vuonna 1990 eri tutkimusten perusteella. Kyseinen vuosi on valittu tarkasteluajankohdaksi, koska Laineen aikasarja päättyy 90-luvun alkuun.

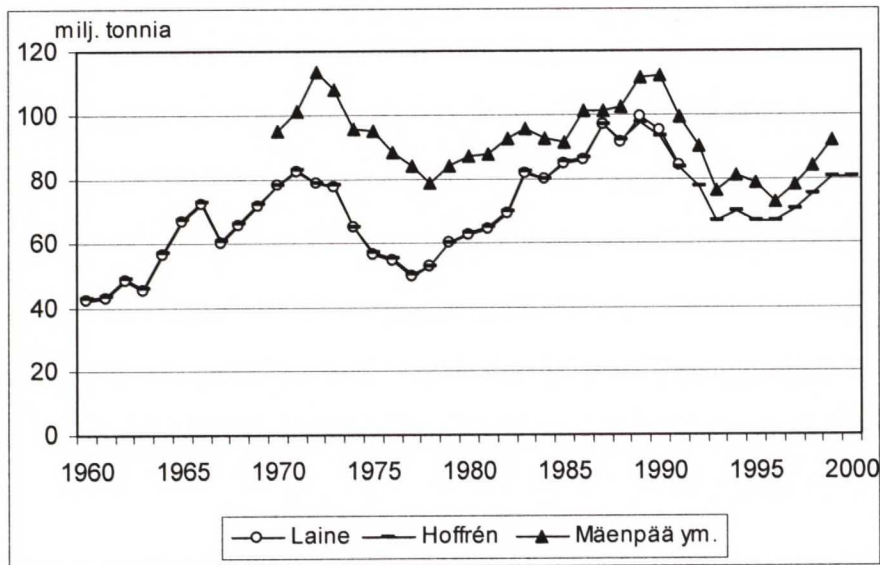


**Kuvio 9 Suorat panokset materiaaliryhmittäin vuonna 1990**

(Tiedot: Laine 1994, 35; Hoffrén 2001, 171–172; Mäenpää ym. 2000: TMRFIN1.2)

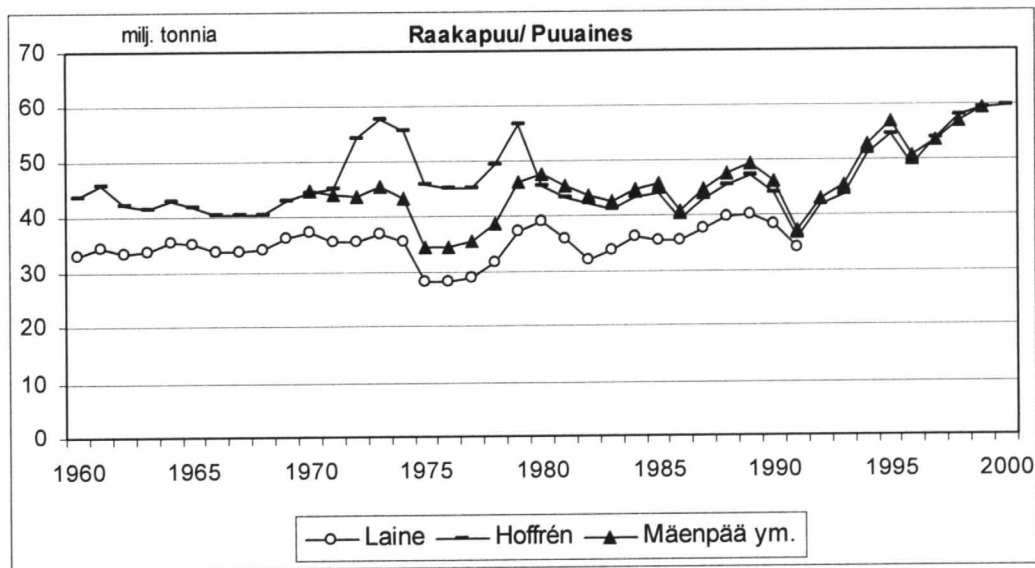
Sora/kiviaines/rakentamisen maa-ainekset muodostavat noin puolet käytetyistä luonnonvaroista, tosin osuus on vaihdellut ajan kuluessa jonkin verran suhdanteista riippuen. Raakapuu muodostaa toiseksi suurimman aineryhmän. Mineraalit muodostavat puuaineksen tavoin noin viidesosan materiaalien kokonaiskäytöstä. Mäenpää ym. (2000) ovat tutkineet mineraaleja yhtenä aineryhmänä, kun taas Mäkelä (1985) ja Laine (1994) ovat tarkastelleet erikseen energia- ja teollisuusmineraaleja ja metalleja. Hoffrén (2001) puolestaan on jaotellut mineraalit fossiilisiin polttoaineisiin ja kaivannaisiin. Maatalouden osuus on pysynyt kuudessa prosentissa, vaikka absoluuttisesti maatalouden ainevirrat ovat kasvaneet puolitoistakertaiseksi vuosina 1970–1999 (Mäenpää ym. 2000, 20). Maatalouden tuotannosta noin kaksi kolmasosaa menee eläinten rehuksi ja elintarvikekäyttöön keskimäärin vajaa kolmannes (Mäenpää ym. 2000, 22). Seuraavaksi tarkastellaan tarkemmin kolmen suurimman materiaaliryhmän kehitystä, sillä niiden muutokset selittävät vaihtelut materiaalien kokonaiskäytössä. Kuviossa 10 on esitetty rakentamisen maa-ainesten (Mäenpää ym. 2000)/ kivi-aineksen (Hoffrén 2001)/ soran (Laine 1994) kulutus Suomessa.





**Kuvio 10 Rakentamisen maa-ainesten / soran käyttö 1960–2000**  
(Tiedot: Laine 1994, 35; Hoffrén 2001, 171–172; Mäenpää ym. 2000: TMRFIN1.2)

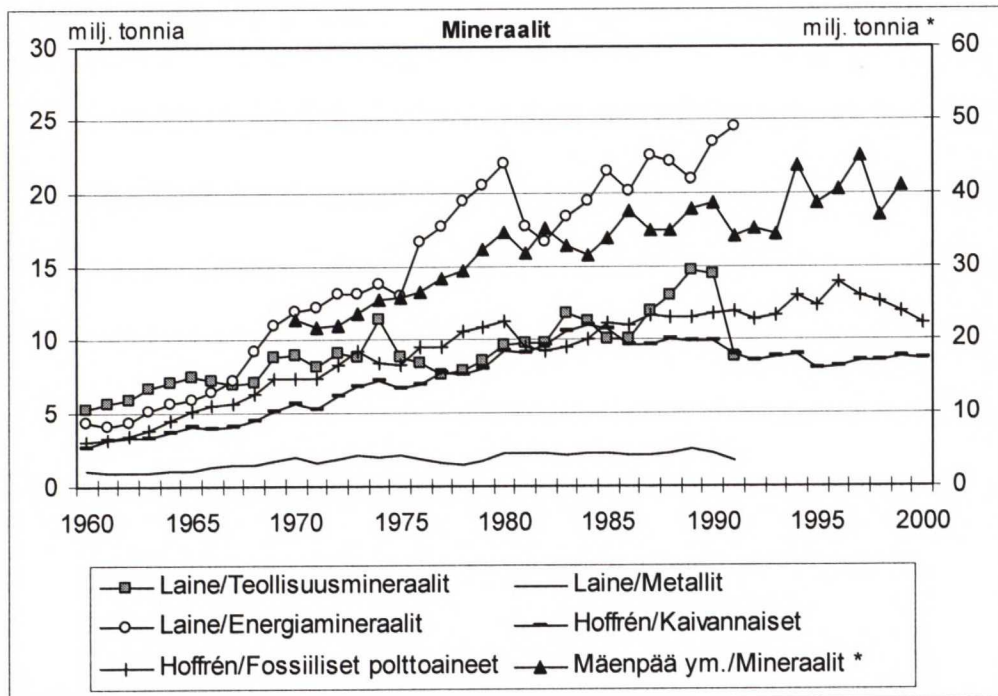
Rakentamisen maa-ainesten käyttö on hyvin riippuvaista suhdanteista (Hoffrén 1999, 94). Niiden osuus suorista panoksista onkin vaihdellut huomattavasti suhdanteiden mukaan. Käytön kasvu 1960-luvun lopusta vuoden 1972 kulutushuippuun asti johtui pääasiassa yleisten teiden rakentamisesta (Mäenpää ym. 2000, 34). Taloudellisen aktiviteetin hiipuminen 1970-luvulla näkyi puolestaan soran käytön vähenemisenä. Ulkomaisen velkarahoituksen varaan syntynyt rakentamisbuumi nosti maa-ainesten käytön jälleen uusiin huippulukemiin 1980-luvun lopussa (Mäenpää ym. 2000, 62). Kun rakennusinvestoinnit vähenivät laman aikana 1990-luvun alussa, myös luonnonvarojen käyttö laski, kunnes 1990-luvun puolivälissä rakentaminen kääntyi jälleen uuteen kasvuun. Laineen (1994) ja Hoffrénin (2001) aikasarjat ovat lähes identtiset. Mäenpään ym. (2000) rakentamisen maa-aineksiin sisältyy soran ja murskeen lisäksi muut maa-ainekset. Laine (1994, 28) huomauttaa, että tilastoinnin puutteet vaikeuttavat soran käytön mittaamista. Tämän vuoksi tietojen luotettavuus on hänen mukaansa soran kohdalla heikempi kuin muilla materiaaleilla. Luonnonsoran varannot ovat Suomessa vähentyneet, koska harjujen käyttöä säätelevät puhtaan pohjaveden turvaaminen, suojeleohjelmat, kaavoitus ja maa-aineslain lupamenettely. Sorasta onkin siirrytty korvaavien murskeiden käyttöön. Kuviossa 11 on esitetty puun käyttö Suomessa.



**Kuvio 11 Puun käyttö 1960–2000**

(Tiedot: Laine 1994, 35; Hoffrén 2001, 171–172; Mäenpää ym. 2000: TMRFIN1.2)

Luonnonvarojen käyttö supistui 1970-luvulla lähinnä puun ja soran käytön merkittävän laskun seurauksena (Mäenpää ym. 2000, 62). Suomen metsäteollisuus käyttää raakapuusta yli 90 prosenttia, joten muutokset puun käytössä selittyvät pääasiassa metsäteollisuuden vuotuisen puuntarpeen vaihtelusta (Mt. 24). Puun käyttö laski Suomessa 1970-luvun alussa, kun öljykriisin aiheuttama lama läntisissä teollisuusmaissa vähensi paperin ja rakennustarvikkeiden kansainvälistä kysyntää. (Mt. 27–28) Bilateraali kauppa Neuvostoliiton kanssa tosin lievensi laman vaikutuksia Suomessa kasvattamalla idänvientiä. Toinen suuri notkahdus raakapuun käytössä tapahtui 1990-luvun alussa lähinnä kotimaisen rakentamisen romahdettua (Mt. 28). Vuonna 1994 paperiteollisuuden viennin voimakas kasvu nosti puun käytön ennätyslukemiin, 53 miljoonaan tonniin (Mt. 24, 63). Teollisuuden puunkäyttö on tehostunut, kun esimerkiksi raakapuuta on korvattu keräyspaperilla paperiteollisuudessa. Toisaalta teollisuuden käyttämän tuontipuun määrä on viime vuosina kasvanut ja samalla raakapuun vienti on vähentynyt. Viime vuosina on myös pyritty lisäämään puun käyttöä energiantuotantoon. (Mt. 28) Kuvio 12 esittää mineraalien käytön kehityksen Suomessa.

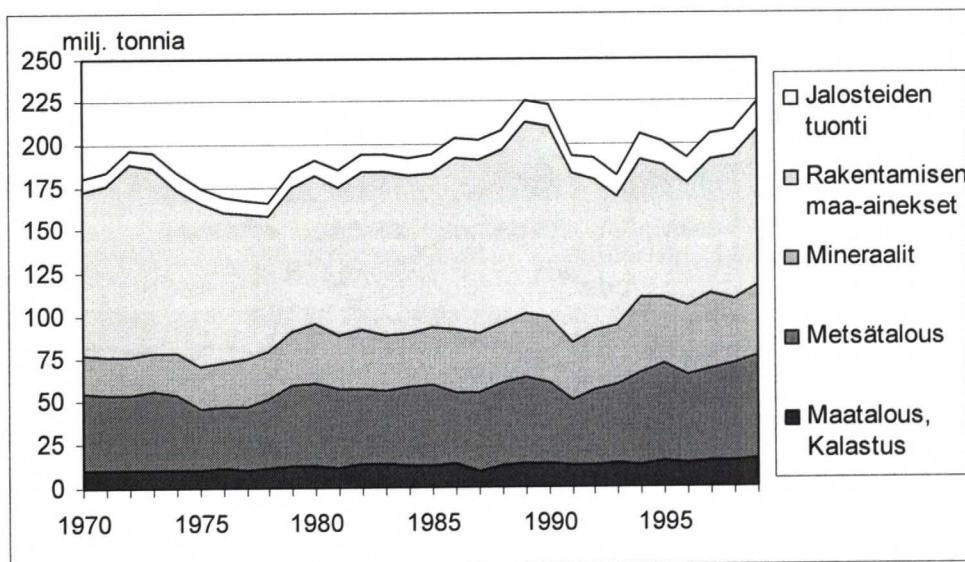


**Kuvio 12 Mineraalien käyttö 1960–2000**

(Tiedot: Laine 1994, 35; Hoffrén 2001, 171–172; Mäenpää ym. 2000: TMRFIN1.2)

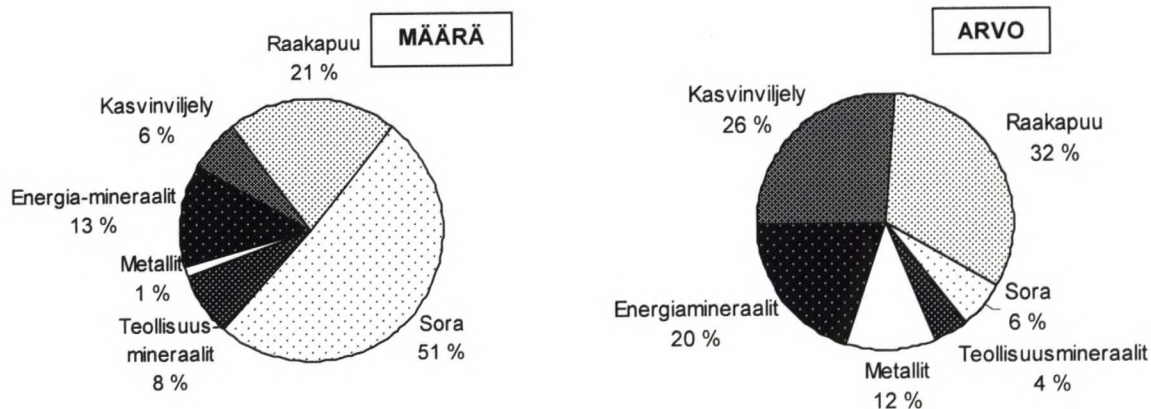
Suomen metalliteollisuus syntyi kotimaisten malmivarojen hyödyntämiseksi. Kotimaisten mineraalien louhinta oli suurimmillaan 1980-luvulla. Sen jälkeen malmivarojen ehtyminen on kasvattanut mineraalien tuontia ja vuonna 1997 tuontimineraalien osuus oli jo yli kolmanneksen. Energiamineraalit muodostavat suurimman mineraalierän, lähes kaksi kolmasosaa vuonna 1999. Kivihiili ja öljy ovat Suomessa käytetyimmät energiamineraalit, mutta kotimaisista energiamineraaleista erityisesti turpeen käyttö on kasvanut voimakkaasti 1970-luvulta lähtien (Mäenpää ym. 2000, 29–30, 32–33, 44) 1980-luvulla energiamineraalien kasvuvauhtia hidastivat ydinvoimatuotannon lisääntyminen ja sähkön nettotuonti (Laine 1994, 13). Yleiskuva suorien aineellisten panosten kehityksestä materiaalityyhmittäin on esitetty kuviossa 13.





**Kuvio 13 Suorien panosten rakenne 1970–1999** (Tiedot: TMRFIN1.2)  
(Liitteessä 8 vastaavat kuviot Laineen (1994) ja Hoffrénin (2001) tutkimuksista)

Kuten edellä on havaittu, rakentamisen maa-ainekset, mineraalit ja metsätalous muodostavat merkittävimmän osan luonnonvarojen välittömästä käytöstä. Yleiskuva luonnonvarojen käytöstä saattaa Mäkelän (1985, 6) mukaan muuttua huomattavasti, jos käyttöä tarkasteltaisiin tonnimäärän sijasta käytön arvon (hinta\*määrä) perusteella (Kuvio 14).



**Kuvio 14 Materiaalien käytön jakaumat vuonna 1990 määrän ja arvon (vuoden 1990 hinnoin) perusteella** (Tiedot: Laine 1994, 6)

Materiaalin hinta koostuu kustannus- ja niukkuuskomponentista, ja hinta on tärkeä materiaalien kysyntään vaikuttava tekijä. Esimerkiksi sora ja muut maa-ainekset ovat suhteellisen halpoja, sillä niitä on runsaasti saatavilla ja käyttöönoton kustannukset eivät ole kovin suuret. Sora

muodostaakin materiaalien kokonaiskäytöstä lähes puolet, mutta arvon mukaan mitattuna sen osuus on vain muutama prosentti. (Mäkelä 1985, 6) Vertailu osoittaa, kuinka hintojen ottaminen mukaan tarkasteluun muuttaa merkittävästi kokonaiskuvaa materiaalien käytöstä. Tonnimäärien mittaaminen hinnoista erillään tarjoaa luonnonvarojen käytöstä lisätietoa, johon eivät vaikuta esimerkiksi materiaalien hintojen tai valuuttakurssien muutokset. Luonnonvarojen käytön määrän ja arvon mittaaminen täydentävät toisiaan ja tarjoavat näin ollen erilaista tietoa erilaisiin analyysitarpeisiin.

Hinta vaikuttaa yksittäisten materiaalien kulutukseen ja niiden korvaamiseen toisilla materiaaleilla. Resurssien tehokkaan allokation mukaisesti suhteellisesti kalliita materiaaleja pyritään korvaamaan halvemmilla resursseilla (Hoffrén 1999, 58). Tosin kaikilla materiaaleilla ei ole läheisiä substituuotteja, jolloin niiden kysynnän hintajousto on alhainen, eikä hintamuutoksilla siten ole suurta vaikutusta tällaisten välttämättömien luonnonvarojen kysyntään (Mäkelä 1985, 6). Yhden materiaalin käytön väheneminen ei Mäkelän (1985, 29) mukaan automaattisesti tarkoita pienempää luonnonvarojen kokonaiskäyttöä, sillä käytön väheneminen voi johtua materiaalin korvaamisesta toisella tuotannontekijällä. Jos esimerkiksi öljyä korvataan hiilellä, luonnonvarojen kokonaiskysyntä tonneina voi jopa kasvaa, koska hiilen energiasisältö tonnia kohti on pienempi kuin öljyllä. Substituutiota voidaan tarkastella myös luonnonvarojen niukkuuden suhteen. Substituutiota ohjaavat yleinen tekninen kehitys ja pyrkimys minimoida kustannuksia. Jos hiilen alhaisempi hinta on merkki suuremmista varannoista, niukkuusnäkökulmasta kalliimman öljyn korvaaminen hiilellä vähentää tällöin luonnonvarojen käyttöä.

Suorien ainepanosten, DMI, etuna luonnonvarojen käytön indikaattorina on se, että tarvittavat tilastot talouden käyttämistä luonnonvaroista ovat suhteellisen helposti saatavilla. Lisäksi talouden suorille panoksille on yleensä markkinahinnat, jolloin voidaan tarkastella myös käytön arvoa. Toisaalta DMI:llä on myös heikkoutensa. Se ei ota huomioon kaikkia kansantalouden aiheuttamia ainevirtoja. DMI ei mittaa sellaisten luonnonainesten käyttöä, joita ei oteta talouden prosessoitavaksi ja joilla ei siten ole taloudellista arvoa. Se ei myöskään ota huomioon tuonnin välillistä, ulkomailta tapahtuvaa luonnonvarojen käyttöä. Mikäli tarkastellaan vain kotimaista välitöntä materiaalien käyttöä, aliarvioidaan kansantalouden todellinen riippuvuus

luonnonvaroista. Jos kotimaista tuotantoa korvataan lisäämällä raaka-aineiden tai jalosteiden tuontia, DMI:n arvo pienenee, vaikka luonnonvarojen käyttö ulkomailla lisääntyisi tämän seurauksena. (Bringezu ym. 2003) Nämä epäkohdat otetaan huomioon, kun seuraavaksi tarkastellaan Suomen piilovirtoja.

### **6.3. Piilovirrat**

Jotta kansantalouden luonnonvarojen kokonaiskäytöstä saataisiin kattava kuva, on tarkasteltava talouden piilovirtoja eli sellaista luonnonvarojen käyttöä, joka ei sisälly suoriin ainepanoksiin. Ennen kuin tarkastellaan Suomen piilovirtoja, tutustutaan ensin siihen, miten piilovirtoja mitataan ainevirtatilinpidossa.

#### ***6.3.1. Piilovirtojen laskeminen***

Kotimaisiin piilovirtoihin lasketaan käyttämätön aineotto, louhinta ja eroosio. Tuonnin piilovirtoihin kuuluu käyttämätön aineotto sekä tuontituotteiden valmistukseen liittyvä välillinen luonnonvarojen käyttö ulkomailla (Bringezu ym. 2003). Tuonnin piilovirrat voitaisiin periaatteessa kohdistaa vain niiden alkuperämaalle sillä perusteella, että jokaisen maan tulisi olla vastuussa vientinsä aiheuttamasta ympäristörasituksesta. Tällöin kuitenkin aliarvioitaisiin tuontimaan aiheuttamat välilliset ainevirrat ulkomailla. (Adriaanse ym. 1997, 7)

Tuontituotteilla on laskentaeroista johtuen huomattavasti suuremmat piilovirrat suhteessa suoriin panoksiin kuin kotimaisilla tuotteilla. Kotimaisiin piilovirtoihin kuuluvat vain sellaiset siirretyt luonnonainekset, joita ei oteta talouden käyttöön. Sen sijaan tuonnin piilovirtoihin lasketaan näiden lisäksi myös tuontituotteiden valmistukseen ulkomailla käytetyt luonnonainekset, jotka eivät sisälly tuontituotteiden ainesmäärään. Esimerkiksi kotimaisen maatalouden käyttämät panokset, kuten energia ja lannoitteet lasketaan energiamateriaalien ja mineraalien suoriin panoksiin, kun taas tuontituotteilla ne sisältyvät tuotteiden piilovirtoihin. (Mäenpää ym. 2000, 20)



Piilovirrat johdetaan joko suoraan tilastoista tai laskentaparametrien avulla suorien panosten käytöstä. Kotimaiset piilovirrat voidaan melko helposti arvioida teollisuuden toimialojen keräämistä tiedoista. Tuonnin piilovirtojen arviointi on paljon vaikeampaa, sillä tuontituotteiden piilovirtoihin vaikuttavat olosuhteet voivat vaihdella huomattavasti eri maissa. Saksan Wuppertal-instituutissa on arvioitu kansainvälisen kaupan tuotteille piilovirtakertoimet, tärkeimmille tuotteille myös maakohtaiset arviot. Suomen laskelmissa tuonnin maajakauma on otettu huomioon erityisesti mineraalien osalta. Pitkälle jalostettujen lopputuotteiden kertoimet ovat kuitenkin hyvin karkeita arvioita todellisista piilovirroista, sillä vain raaka-aineista ja puolivalmisteista voidaan tehdä tarkempia laskelmia. Taulukossa 5 on esimerkkejä tuontituotteiden piilovirtakertoimista. (Mäenpää ym. 2000, 12, 36)

**Taulukko 5 Tuontituotteiden piilovirtakertoimia, tonnia tuotetonna kohti**

	t/t
<b>Elintarvikkeet</b>	
Vehnä	2,3
Maissi	3,7
Sitrushedelmät	0,9
Kahvi, paahtamaton	34,2
Myllytuotteet	3,0
Liha	52,3
<b>Energiamineraalit</b>	
Kivihiili	2,3
Raakaöljy	0,2
Raskasöljy	0,5
Maakaasu	0,3
Ydinpoltoaine	15 250,0
<b>Metallimineraalit</b>	
Rautamalmi ja -rikasteet	1,8
Rauta ja teräs	5,4
Ferroseokset	50,7
Kuparimalmi ja -rikasteet	71,0
Kupari, muokkaamaton	249,0
Molybdeenimalmi ja -rikasteet	328,9
<b>Jalometallit ja -kivet</b>	
Hopea	7 505,0
Kulta	561 801,0
Timantit	351 382,0
<b>Lopputuotteet</b>	
Tekstiilit	4,8
Radio-, televisio- ja tietoliikennevälineet	14,8
Autot, autonkorit ja perävaunut	6
Yleiskerroin	4

(Mäenpää ym. 2000, 36)

Viljelytuotteiden piilovirtoihin lasketaan lannoitteet, tuholaismyrkyt, polttoaineet ja eroosio. Kahvin piilovirtakerroin on suuri eroosion vuoksi, kun taas lihatuotteiden korkea kerroin muodostuu rehutuotannon luonnonvarasisällöstä. Energiamineraaleista öljyn ja maakaasun

pumppauksen piilovirrat ovat hyvin vähäisiä, kun taas uraanimalmioiden pienet uraanipitoisuudet nostavat ydinpolttoaineen piilovirtakerrointa. Tosin ydinpolttoainetta tarvitaan sähkön tuotannossa huomattavasti vähemmän kuin fossiilisia polttoaineita, mikä tasoittaa ydinpolttoaineen korkean piilovirtakertoimen tuotettua sähköä kohti. Metallimineraalien piilovirtakertoimet on määritetty Suomen raaka-ainelähteiden perusteella. Esimerkiksi rautamalmien korkean rautapitoisuuden vuoksi piilovirtakerroin jää suhteellisen pieneksi. Jalometallien kertoimet taas ovat suuret, koska niitä kannattaa louhia hyvinkin pieninä pitoisuuksina korkeiden hintojen vuoksi. (Mäenpää ym. 2000, 37)

Erityisesti mineraalien ja jalometallien suuret kertoimet havainnollistavat, kuinka harhainen kuva luonnonvarojen käytöstä voidaan saada, jos tarkastellaan vain suoria ainepanoksia. Malmioiden köyhtyminen lisää piilovirtoja tulevaisuudessa, varsinkin jos raaka-aineiden hinnannousu tekee entistä pienempien pitoisuuksien louhinnan kannattavaksi. Viime vuosina muun muassa Kiinan nopea talouskasvu on lisännyt maailmanlaajuisesti raaka-aineiden kysyntää ja hintoja.

Piilovirtakertoimiin on kuitenkin syytä suhtautua varauksellisesti. Raaka-aineiden kertoimet ovat vielä suhteellisen helposti laskettavissa. Tietokoneiden tai matkapuhelimien kaltaiset lopputuotteet ovat kuitenkin niin pitkälle jalostettuja, että niiden globaalin tuotantoprosessin piilovirtoja on lähes mahdotonta tarkasti selvittää. On vaikea arvioida, onko esimerkiksi perinteistä kuvaputkitelevisiota kevyempi taulutelevisio myös piilovirroiltaan mitattuna kevyempi. Vaikka yksittäiset tuotteet kevenevät, Wernick ym. (1996) kuitenkin väittävät, että talous kokonaisuudessaan kasvaa fyysisesti.

Aiemmin luvussa 5.4 on tarkasteltu sitä, miksi eri materiaalitonnetta ei painoteta niiden erilaisten ympäristöhaittojen perusteella. Tätä on perusteltu sillä, että haitallisuuskertoimien määrittämiseksi ei tunneta riittävän hyvin kaikkia ympäristövaikutusten syy-seuraussuhteita. Piilovirtakertoimien arviointi on osittain ristiriidassa tämän luonnonvarojen käytön objektiivisen mittaamisen kanssa, sillä kertoimien määrittely on ainakin jossain määrin subjektiivinen prosessi. Etenkin jalostettujen lopputuotteiden piilovirtakertoimet ovat vain erittäin karkeita arvioita tuotteiden valmistukseen liittyvästä todellisesta materiaalikäytöstä. Kun jalosteiden osuus tuonnista kasvaa, myös niiden piilovirtojen osuus kasvaa. Tämä lisää TMR:n epätarkkuutta ja

subjektiivisuutta luonnonvarojen käytön indikaattorina. Tosin TMR mittaa pääasiassa talouden raaka-aineperustaa ja tuontijalosteiden ainevirrat sisältyvät niiden alkuperämaiden raaka-ainekäyttöön. Yksittäisten tuotteiden piilovirroilla ei siten ole välttämättä niin suurta merkitystä kansantalouden tasolla.

Suomen piilovirtojen laskemisessa on käytetty muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta kiinteitä painovirtakertoimia (Mäenpää ym. 2000, 12). Esimerkiksi kivihiilen sivukiven painokerroin on vaihdellut eri vuosina. Kertoimien laskeminen on käytännössä erittäin monimutkaista, joten kiinteän kertoimen käyttö koko tarkasteluajanjaksolla on ymmärrettävää. Se kuitenkin osoittaa piilovirtojen laskemiseen liittyvän epätarkkuuden, sillä piilovirtojen suuruus on luultavasti vaihdellut kolmen vuosikymmenen aikana.

Piilovirtakertoimien lisäksi toinen piilovirtojen epäkohta liittyy eroosioon. Eroosio lasketaan mukaan piilovirtoihin eli sen katsotaan tällöin olevan luonnonvarojen käyttöä. Erityisesti maa- ja metsätaloudessa eroosio voi muodostaa merkittävän osan piilovirroista. Vaikka eroosio onkin eräänlaista maa-ainesten siirtoa, se saa piilovirtoihin sisältyessään erityisaseman muihin ympäristövaikutuksiin verrattuna. Bringezun ym. (2003) mukaan eroosiota tulisikin kohdella enemmän ympäristövaikutuksena kuin aineottoon liittyvänä luonnonvarojen käyttönä.

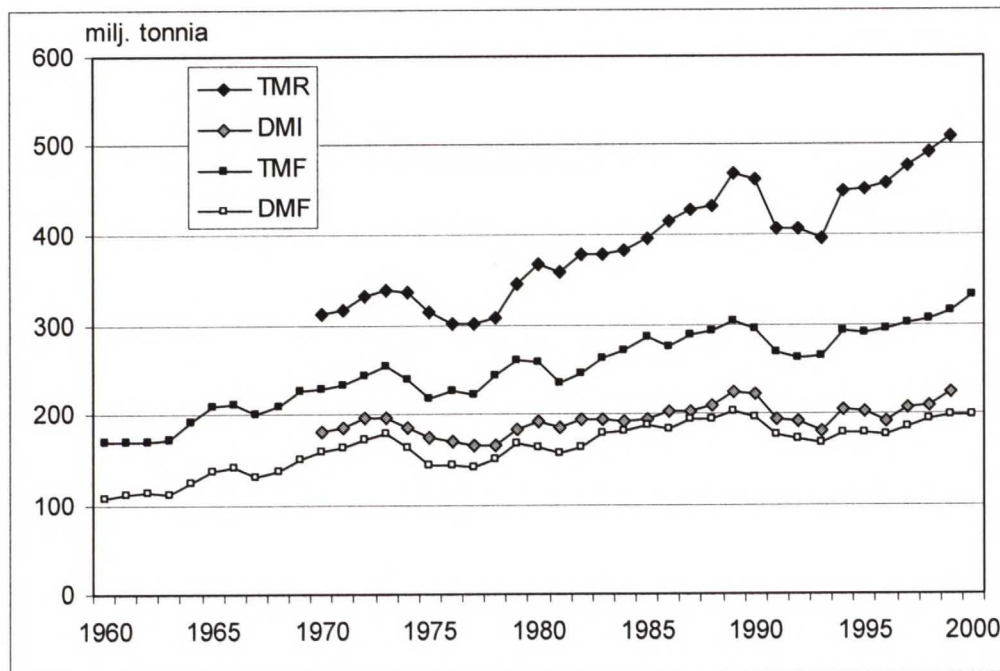
Piilovirtojen mittaamiseen ja rajauksiin liittyy monia ongelmia, minkä vuoksi eri maiden piilovirtalaskelmat eivät välttämättä ole täysin vertailukelpoisia. Esimerkiksi eroosion mittausta ja arviointitavat vaihtelevat hyvinkin paljon eri maissa, mikä heikentää tulosten vertailtavuutta (Mäenpää ym. 2000, 23). Toinen ongelma liittyy eloperäisten ainesten (kasvit, luonnoneläimet, puu) käyttämättä jääneeseen sivubiomassaan. Esimerkiksi Adriaansen ym. (1997) vertailututkimuksessa metsätalouden hakkuutähteet ja kannot sisältyivät Yhdysvaltojen piilovirtoihin, mutta niitä ei ollut huomioitu Saksan piilovirtalaskelmissa. Piilovirtojen rajanveto on sopimuksenvaraista myös maa-ainesten käytössä: ”luonnontilaisen maa-aineksen ensikertainen siirto ja palautumaton muunto” (esimerkiksi avo-ojitus) lasketaan luonnonvarojen käyttöön, mutta jos ”maa-aines palautetaan alkuperäiselle paikalleen ilman että sen ominaisuudet oleellisesti muuttuvat” (esimerkiksi peltomaan kyntö), sitä ei sisällytetä laskelmiin. (Mäenpää ym. 2000, 10)



### **6.3.2. Suomen piilovirrat**

Suomen luonnonvarojen käytön piilovirtoja tarkastellaan tässä tutkielmassa lähinnä Mäenpään ym. (2000) aineiston perusteella. Myös Hoffrén (2001) on luonut aikasarjan Suomen piilovirroista, mutta siinä ei ole eritelty piilovirtoja materiaalityypittain. Mäkelä (1985, 3) rajasi välillisen materiaalisäällön laskelmiensa ulkopuolelle siksi, ettei sillä hänen mukaansa ole taloudellista merkitystä ja tietojen ajallinen ja kansainvälinen vertailu on vaikeaa. Mäkelän näkemys poikkeaa nykyisin vallitsevasta ajattelutavasta, jonka mukaan piilovirrat ovat tärkeä osa luonnonvarojen kokonaiskäyttöä ja talouden aiheuttamaa yleistä ympäristöärasitusta. Tosin niiden mittaaminen on edelleen vaikeaa, eivätkä tiedot ole välttämättä yhtä luotettavia kuin suorilla ainepanoksilla.

Kuviossa 15 on esitetty suorien panosten (DMI) kehitys ja luonnonvarojen kokonaiskäyttö (TMR), joka sisältää suorien panosten lisäksi piilovirrat. Vertailun vuoksi kuvassa on myös Hoffrénin (2001) laskelmat suorista ainevirroista (Direct Material Flow, DMF) ja kokonaisainevirroista sisältäen piilovirrat (Total Material Flow, TMF).

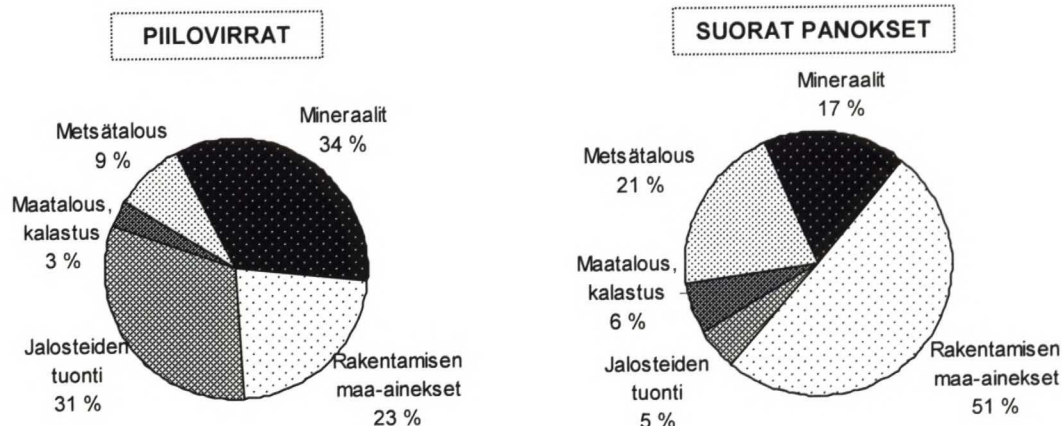


**Kuvio 15 Piilovirtojen arvioihin luonnonvarojen kokonaiskäytöstä 1960–2000**  
(Tiedot: TMRFIN1.2; Hoffrén 2001, 171–172)

Piilovirtojen määrä on yli kaksinkertaistunut Suomessa 133 miljoonasta tonnista vuonna 1970 lähes 285 miljoonaan tonniin vuonna 1999. Piilovirtojen osuus luonnonvarojen kokonaiskäytöstä on kasvanut tarkastelujaksolla 40:stä yli 50 prosenttiin. (TMRFIN1.2) Hoffrénin (2001) laskelmissa piilovirtojen määrä on kaksinkertaistunut 62 miljoonasta tonnista vuonna 1960 (70 milj. tonnia vuonna 1970) 132 miljoonaan tonniin vuonna 2000. Tosin piilovirtojen osuus kokonaisainevirroista (TMF) on vaihdellut 30–40 prosentissa ilman merkittävää kasvua. Seuraavaksi tarkastellaan piilovirtojen rakennetta Mäenpään ym. (2000) tutkimuksen perusteella.

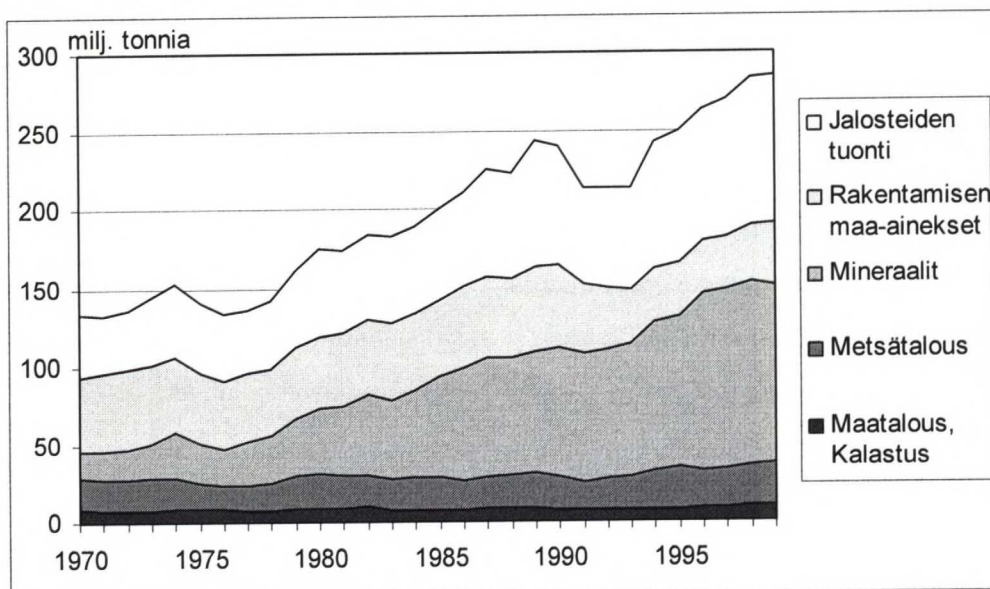
Piilovirrat on jaoteltu samoihin pääryhmiin kuin suorat panokset edellisessä luvussa:

- **maatalous ja kalastus:** viljelysmaan eroosio, lannoitteet, tuholaismyrkyt, polttoaineet, tuottamaton biomassa (esimerkiksi viljan korret, juurikasvien lehdet)
- **metsätalous:** hakkuutähteet, kannot ja metsänhoidon eroosio
- **mineraalit:** louhinnan sivukivi ja rikastusjätteet
- **rakentamisen maa-ainekset:** rakennustyömailta poisraivattu jätettä
- **tuontijalosteet:** tuotteen valmistamiseen käytetyt luonnonainekset vähennettynä tuontituotteen suoralla ainesmäärällä (Mäenpää ym. 2000, 9–10)



**Kuvio 16 Piilovirrat ja suorat panokset materiaaliryhmittäin vuonna 1990**  
(Tiedot: TMRFIN1.2)

Piilovirtojen rakenne poikkeaa merkittävästi suorien panosten koostumuksesta (Kuvio 16). Mineraalit ja tuontijalosteet muodostavat suorista panoksista vain vajaan viidesosan, mutta niiden osuus piilovirroista on kasvanut tasaisesti yli kolmasosaan. Tuontijalosteet muodostavat piilovirroista noin kolmanneksen. Rakentamisen maa-ainesten osuus piilovirroista oli 23 prosenttia vuonna 1990 (13 prosenttia vuonna 1999), kun suorista panoksista ne muodostavat noin puolet. Maatalouden ja kalastuksen osuus on vain muutama prosentti. Myös metsätalouden piilovirrat ovat suhteellisen vähäisiä, vain noin 10 prosenttia kaikista piilovirroista. Suomen piilovirtojen kehitys materiaaliryhmittäin on esitetty kuviossa 17.



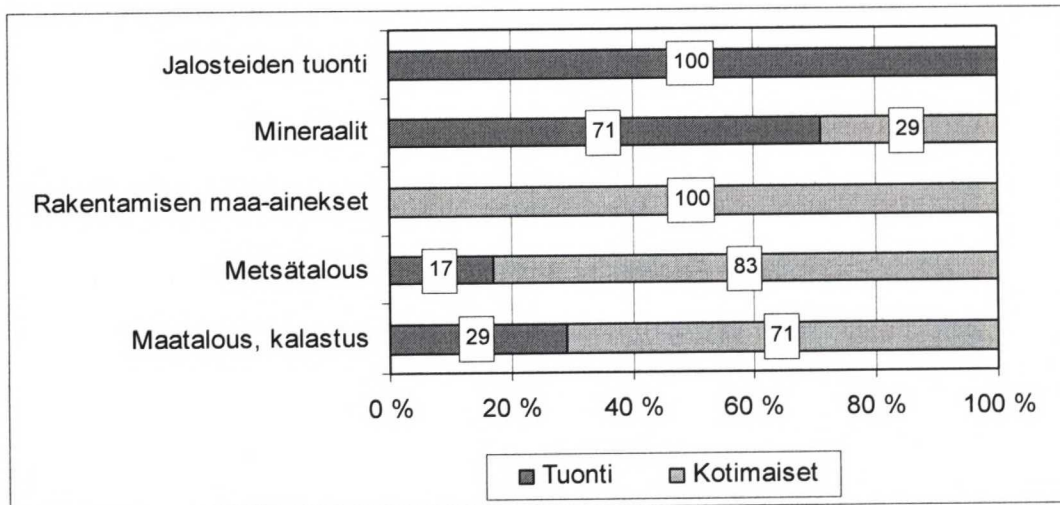
**Kuvio 17 Piilovirtojen rakenne 1970–1999** (Tiedot: TMRFIN1.2)



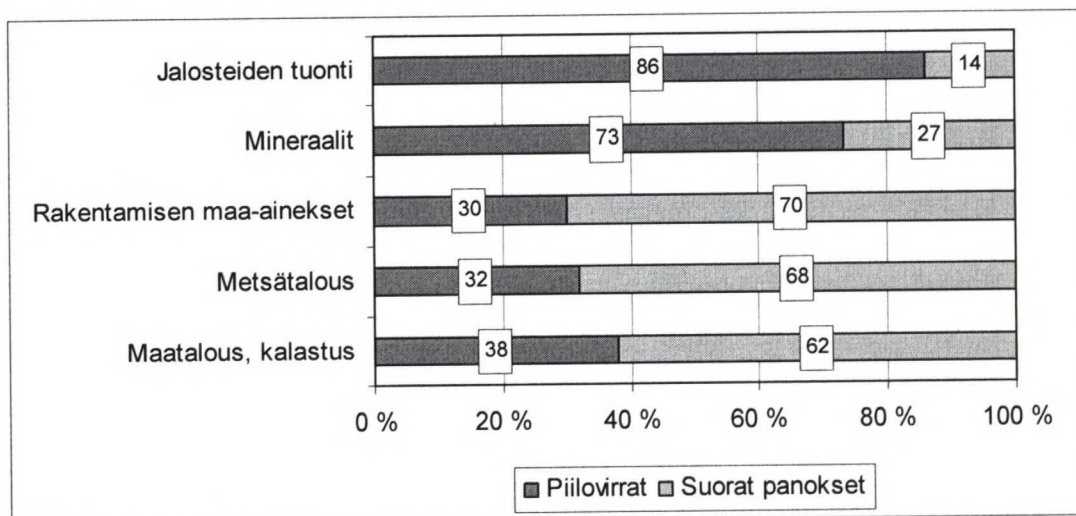
Mineraalien osuus piilovirroista on kasvanut tarkasteluajanjaksolla 13 prosentista noin 40 prosenttiin. Mineraalien piilovirrat ovat pääasiassa louhinnan sivukiveä ja rikastusjätettä. Malmioiden köyhtyminen on kasvattanut louhinnassa syntyvän sivukiven määrää ja siten piilovirtoja suoriin panoksiin nähden (Dahlbo ym. 2003, 14). Suomessa on jäljellä enää suhteellisen vähän malmivaroja teollisuuden tuotantoon nähden (Hoffrén 1999, 94). Kotimaisten mineraalivarojen ehtyminen onkin kasvattanut mineraalien tuonnin piilovirtoja merkittävästi 80-luvun puolivälistä lähtien. Toinen syy piilovirtojen lisääntymiseen on avolouhosten yleistyminen. Tuontimineraalit, kuten kivihiili, tuotetaan usein avolouhoksilla, joissa syntyy enemmän sivukiveä kuin maanalaisissa kaivoksissa. Samalla kun kivihiilen osuus tuontimineraleista on kasvanut, myös sen piilovirtakertoimet ovat nousseet. (Mäenpää ym. 2000, 30–31)

Metsätalouden piilovirtojen kehitys on pysynyt melko tasaisena tarkastelujaksolla. Metsätalouden piilovirtoja on vähentänyt erityisesti puuntuotannon tehostaminen. Toisaalta hakkuutähteiden ja kantojen määrä on suoraan verrannollinen raakapuun hakkuiden kehitykseen. Tulevaisuudessa pyritään lisäämään hakkuutähteiden käyttöä bioenergian tuotannossa, jolloin hakkuutähteet muuttuisivat piilovirroista suoriksi ainepanoksiksi. Maatalouden osuus piilovirroista on vain muutama prosenti. Maanviljelyn peltoeroosio on Suomessa supistunut viljelypinta-alan vähenemisen myötä. (Mäenpää ym. 2000, 23, 25, 28)

Piilovirtojen merkitys korostuu erityisesti tuontijalosteilla ja mineraaleilla. Kuviossa 18 on esitetty kotimaisten ja tuonnin ainevirtojen suhde materiaalityypittain Suomessa vuonna 1999. Kuvio 19 puolestaan kuvaa piilovirtojen ja suorien panosten suhdetta materiaalityypittain samana vuonna.



**Kuvio 18 Kotimaisten ja tuonnin ainevirtojen suhde vuonna 1999**  
(Tiedot: TMRFIN1.2)



**Kuvio 19 Piilovirtojen ja suorien panosten suhde vuonna 1999** (Tiedot: TMRFIN1.2)

Piilovirtojen osuus suoriin panoksiin nähden on sitä suurempi, mitä jalostetumpia lopputuotteet ovat ja mitä korkeampi on tuonnin osuus ainevirroista. Kuten aiemmin on todettu, tuontituotteiden piilovirrat ovat suurempia suhteessa suoriin panoksiin kuin kotimaisilla tuotteilla. Tuontijalosteilla piilovirtojen osuus on 86 prosenttia. Myös mineraalien kokonaiskäytöstä piilovirtojen määrä on yli kaksinkertainen suoriin panoksiin verrattuna, 73 prosenttia. Rakentamisen maa-ainesten, metsätalouden ja maatalouden piilovirrat ovat pienempiä suoriin panoksiin verrattuna ja vastaavasti niiden kotimaisuuden aste on suuri. Tuonnin osuus piilovirroista on kasvanut tasaisesti 40 prosentista vuonna 1970 lähes 70 prosenttiin vuonna 1999

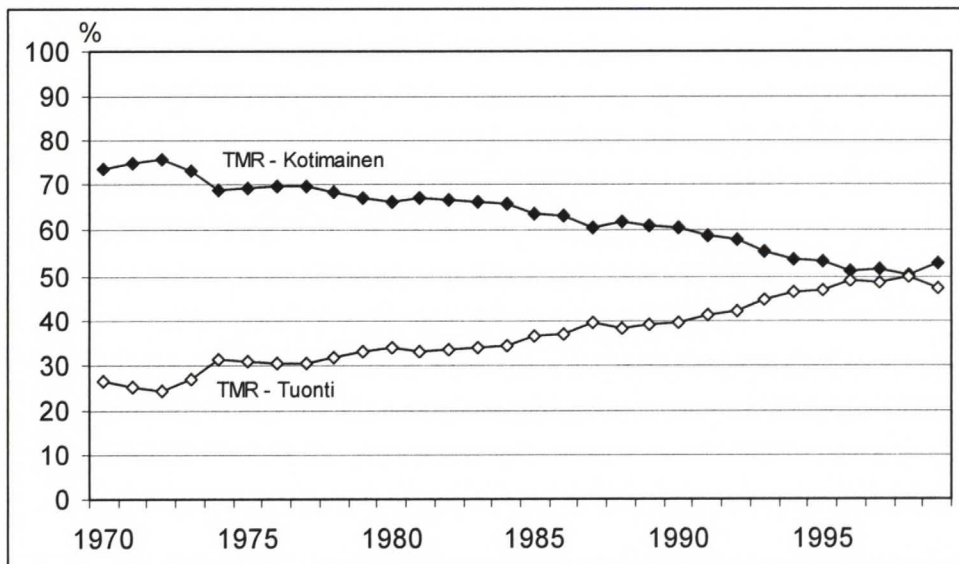
(TMRFIN1.2). Seuraavaksi tarkastellaan tuonnin ja viennin merkitystä Suomen luonnonvarojen käytössä.

#### **6.4. Tuonnin ja viennin ainevirrat**

Kansantalouden luonnonvarojen käytön ympäristövaikutukset voivat tuonnin myötä siirtyä kansantalouden ulkopuolelle maihin, joissa hyödykkeet valmistetaan. Kuten piilovirtojen tapauksessa havaittiin, merkittävä osa kansantalouden toimintaa tukevasta luonnonvarojen käytöstä tapahtuu nykyään rajojen ulkopuolella. Esimerkiksi raaka-aineiden tai valmiiden tuotteiden tuonnin myötä aineeton tai valmistuksen ympäristöhaitat jäävät niiden tuottajamaan vastuulle. (Adriaanse ym. 1997, 1) Tämän vuoksi on tärkeää tarkastella tuonnin materiaalivirtoja. Viennin ainevirtojen perusteella voidaan puolestaan arvioida Suomen luonnonvarojen kokonaiskulutusta (TMC). TMR mittaa kansantalouden tuotannon tarvitseman luonnonvarapanoksen. Kun siitä vähennetään viennin luonnonvarojen käyttö, saadaan kotimaassa kulutettu osuus luonnonvarojen kokonaiskäytöstä. Raaka-aineiden, puolivalmisteiden ja lopputuotteiden osuuksien perusteella voidaan arvioida muun muassa talouden materiaalityövärtä sekä talouden kehitystasetta (Adriaanse ym. 1997, 27).

Tuonnin osuus luonnonvarojen kokonaiskäytöstä on kasvanut Suomessa tasaisesti 1970-luvulta lähtien (Kuvio 20). 1990-luvun lopussa tuonti muodosti jo puolet luonnonvarojen kokonaiskäytöstä, kun sen osuus 1970-luvun alussa oli vielä alle 30 prosenttia.

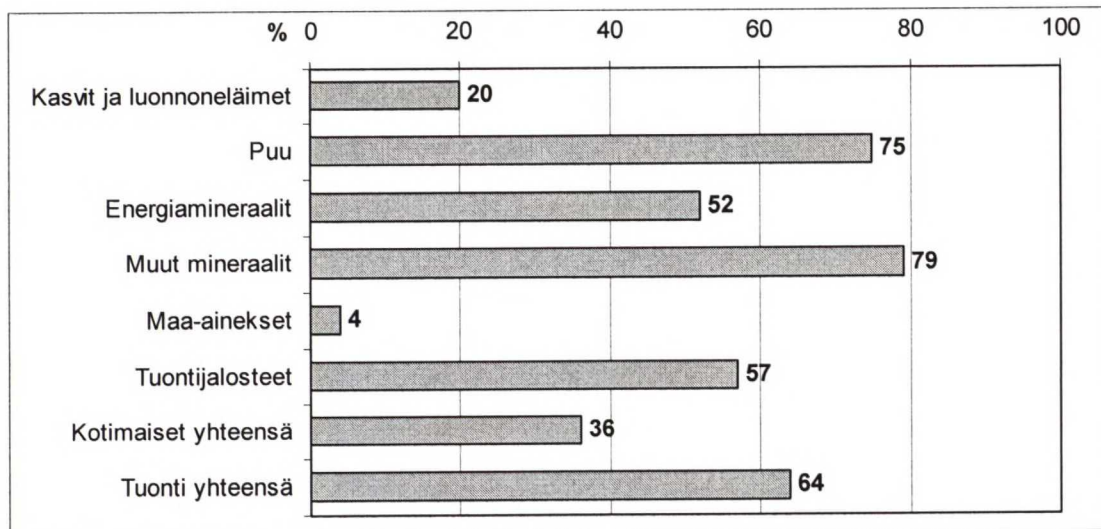




**Kuvio 20 Kotimaisten ja tuonnin osuus TMR:stä 1970–1999**  
(Tiedot: TMRFIN1.2)

Vaikka tuonnin ainevirroista on melko kattavat aikasarjat, viennin materiaalisältö on vaikeampi selvittää. Suomen viennin luonnonvarojen käyttöä on analysoitu panos-tuotosmenetelmällä vuodelle 1995 (Mäenpää ym. 2000) ja 1999 (Mäenpää 2005). Panos-tuotosmallilla voidaan arvioida luonnonvarojen käyttöä toimialoittain ja niiden loppukäytön mukaan (ks. esim. Mäenpää ym. 2000). Loppukäyttö jakautuu yksityiseen ja julkiseen kulutukseen, pääomanmuodostukseen ja vientiin. Tässä yhteydessä näistä tarkastellaan vain viennin luonnonvarojen käyttöä. Mäenpää ym. (2000, 60) eivät ole tehneet erottelua viennin suoriin ja välillisiin ainevirtoihin, koska lopputuotteiden sisältämien materiaalien erottelu on vaikeaa.

Suomen luonnonvarojen kokonaiskäytöstä 50 prosenttia päättyi vientiin vuonna 1999 (Mäenpää 2005, 77). Ns. materiaalivaihtosuhteen perusteella Suomi on perinteisesti vienyt ulkomaille enemmän uusiutuvia luonnonvaroja – pääasiassa metsäteollisuuden tuotteita – ja tuonut uusiutumattomia luonnonvaroja (Mäkelä 1985, 10). Kuviossa 21 on esitetty viennin osuus luonnonvarojen loppukäytöstä materiaaliryhmittäin vuonna 1995.



**Kuvio 21 Viennin osuus materiaaliryhmien loppukäytöstä vuonna 1995**  
(Mäenpää ym. 2000, 60)

Kasveista ja luonnoneläimistä menee vientiin 20 prosenttia. Puun käytöstä viennin osuus on noin 75 prosenttia, muista mineraaleista lähes 80 prosenttia. Energiamineraaleista päätyy vientiin tai vientituotteiden valmistukseen hieman yli puolet. Myös tuonnin jalosteista menee vientiin yli puolet. Vuonna 1995 kotimaisten luonnonvarojen kokonaiskäytöstä viennin osuus oli kuitenkin vain 36 prosenttia. Osuutta pienentää se, että kotimaiset maa-ainekset käytetään lähes kokonaan Suomessa. Sen sijaan tuoduista luonnonvaroista vientiin päätyi 64 prosenttia. (Mäenpää ym. 2000, 61)

Viennin luonnonvarojen käytöstä voidaan tarkastella vientituotteiden valmistuksen välillistä ainemäärää (viennin luonnonvarasisältö) tai suoraa ainemäärää vientituotteiden painon mukaan (vientituotteiden ainemäärä). Vuonna 1995 vientituotteiden välillinen luonnonvarojen käyttö oli seitsenkertainen (218 miljoonaa tonnia) vientituotteiden painoon verrattuna (31 miljoonaa tonnia). Metsäteollisuuden tuotteet muodostivat 40 prosenttia viennin luonnonvarasisällöstä ja perusmetallien valmistus noin neljänneksen. (Mäenpää ym. 2000, 58)

Viennin rakenne muuttuu, jos tonnimäärien sijasta tarkastellaan viennin arvoa. Vuonna 1999 viennin osuus luonnonvarojen kokonaiskäytöstä oli 50 prosenttia, kun talouden rahavirroista se oli vain 29 prosenttia. (Mäenpää 2005, 77) Vuonna 1995 metsäteollisuuden osuus tonneissa

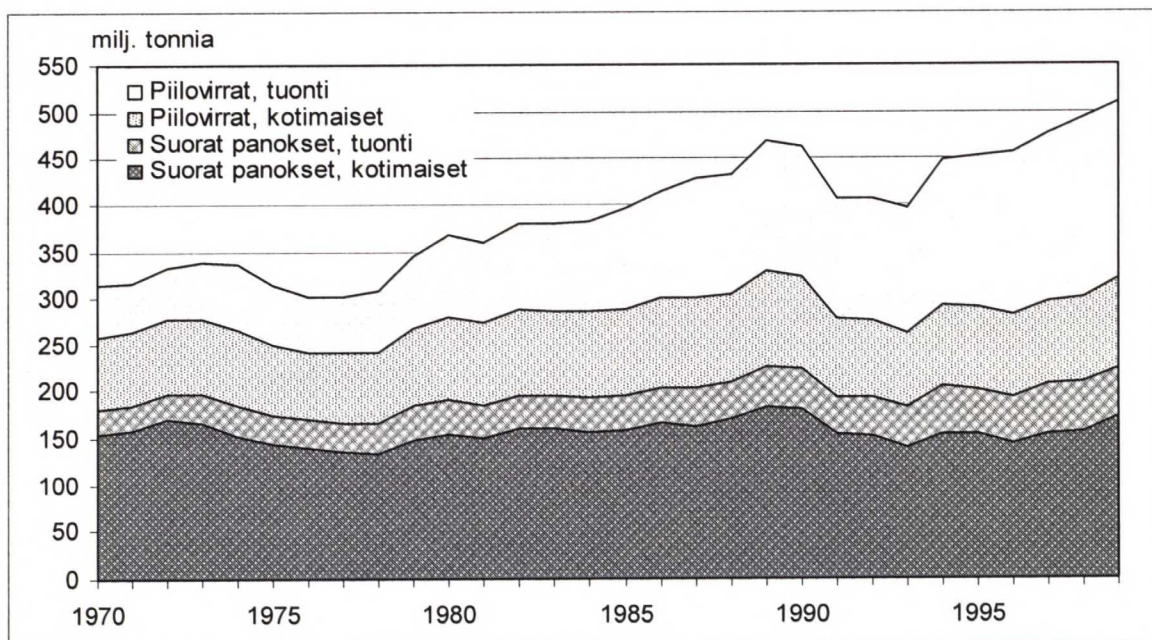
mitattuna oli 58 prosenttia, mutta viennin arvosta metsäteollisuus muodosti 35 prosenttia. Toisaalta sähkötekniset tuotteet kattoivat viennin luonnonvarojen käytöstä alle 5 prosenttia, mutta arvossa mitattuna niiden osuus oli 16 prosenttia. (Mäenpää ym. 2000, 58) Sähköteknisten tuotteiden viennin kasvu pysäytti viennin tonnimääräisen kasvun vuonna 1994 samalla kiihdyttäen viennin arvon kasvua. (Mäenpää ym. 2000, 42)

Tuonnin osuus Suomessa käytetyistä luonnonvaroista oli 47 prosenttia vuonna 1999, kun talouden rahavirroista tuonti muodosti vain 23 prosenttia. Vuonna 1995 raaka-aineiden osuus tuonnin tonnimäärästä oli 71 prosenttia ja jalosteiden 28 prosenttia. Rahassa mitattuna raaka-aineiden osuus oli vain 12 prosenttia ja jalosteiden 88 prosenttia (Mäenpää ym. 2000, 35). Energiaraaka-aineet ja -jalosteet muodostivat tuonnin tonnimäärästä lähes puolet (Mt. 37). Primääriraaka-aineiden paino on hintaan suhteutettuna luonnollisesti alhaisempi kuin pidemmälle jalostetuilla tuontituotteilla. Jos piilovirrat otetaan mukaan tuonnin ainevirtoihin, sellaiset tuotteet menettävät osuuttaan kokonaistuonnista, joilla on pieni piilovirtakerroin. Metsäteollisuustuotteiden, energiamineraalien ja -tuotteiden kerroin on keskimääräisesti suhteellisen pieni, joten niiden osuus kokonaistuonnista vähenee piilovirtojen myötä. Metallien ja metallituotteiden suuri piilovirtakerroin taas lisää niiden osuutta kokonaistuonnista. (Mt. 38–39)

## **6.5. Suomen luonnonvarojen kokonaiskäyttö**

Edellä on tarkasteltu erikseen Suomen luonnonvarojen käytön suoria panoksia, piilovirtoja sekä tuonnin ja viennin ainevirtoja. Nämä pääerät voidaan yhdistää Suomen luonnonvarojen kokonaiskäytöksi (TMR), jonka kehitys on esitetty kuviossa 22 ja taulukossa 6. Luonnonvarojen kokonaiskäytön perusteella voidaan arvioida Suomen dematerialisaatiokehitystä.





Kuvio 22 Suomen luonnonvarojen kokonaiskäyttö (TMR) 1970–99 (TMRFIN1.2)

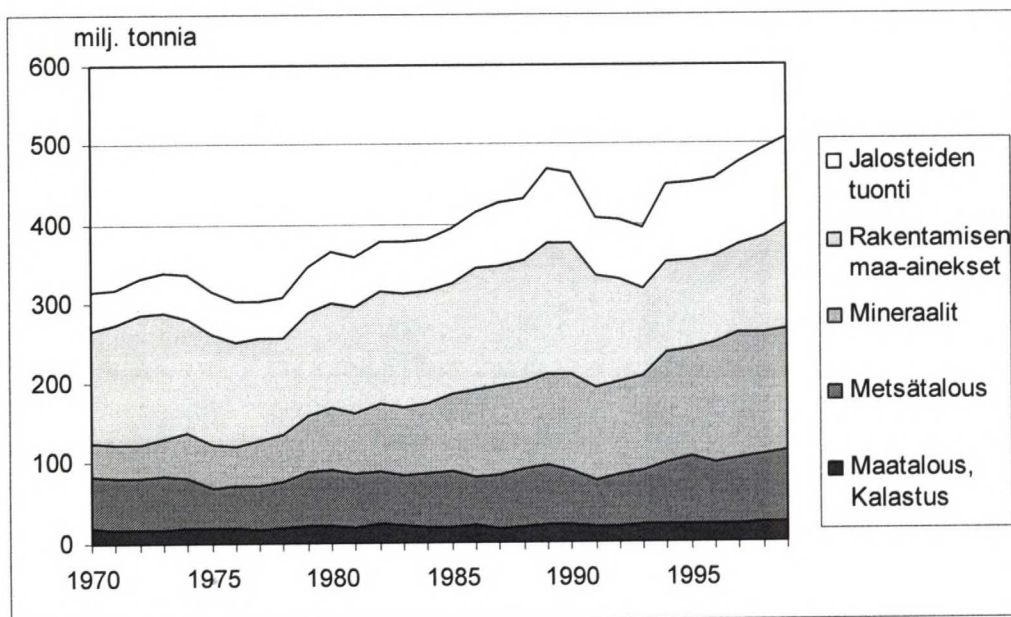
Taulukko 6 Luonnonvarojen kokonaiskäytön pääryhmien kehitys Suomessa

	Miljoonaa tonnia				Prosenttia			
	1970	1980	1990	1999	1970	1980	1990	1999
<b>Suorat panokset</b>	<b>181</b>	<b>191</b>	<b>223</b>	<b>224</b>	<b>58</b>	<b>52</b>	<b>48</b>	<b>44</b>
kotimaiset	154	155	181	172	49	42	39	34
tuonti	27	37	41	52	8	10	9	10
<b>Piilovirrat</b>	<b>133</b>	<b>175</b>	<b>240</b>	<b>284</b>	<b>42</b>	<b>48</b>	<b>52</b>	<b>56</b>
kotimaiset	77	88	100	96	24	24	22	19
tuonti	56	87	140	189	18	24	30	37
<b>Kotimaiset yhteensä</b>	<b>231</b>	<b>243</b>	<b>281</b>	<b>267</b>	<b>74</b>	<b>66</b>	<b>61</b>	<b>53</b>
<b>Tuonti yhteensä</b>	<b>83</b>	<b>124</b>	<b>181</b>	<b>241</b>	<b>26</b>	<b>34</b>	<b>39</b>	<b>47</b>
<b>Materiaalien kokonaiskäyttö</b>	<b>314</b>	<b>367</b>	<b>462</b>	<b>508</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

(mukaillen Mäenpää ym. 2000, 15; TMRFIN1.2)

Luonnonvarojen kokonaiskäyttö oli 508 miljoonaa tonnia vuonna 1999. Vuoteen 1970 verrattuna käyttö on kasvanut yli puolitoistakertaiseksi kolmen vuosikymmenen aikana (TMRFIN1.2). Vastaavaan tulokseen on päästy myös toisessa tutkimuksessa: pidemmällä aikavälillä vuodesta 1960 vuoteen 2000 primäärimateriaalien kokonaiskulutus on lähes kaksinkertaistunut (Hoffrén 2001). Piilovirtojen osuus on kasvanut tasaisesti ja ne muodostavat jo 56 prosenttia kaikista materiaalivirroista. Erityisesti tuonnin piilovirrat ovat kasvaneet tarkasteluajanjaksolla merkittävästi niin absoluuttisesti kuin suhteellisesti. Tuonnin osuus kokonaiskäytöstä on jo lähes

puolet. Samalla kotimaisten suorien panosten osuus on laskenut 49 prosentista 34 prosenttiin. Kuvio 23 ja Taulukko 7 esittävät Suomen luonnonvarojen kokonaiskäytön kehitystä materiaaliryhmittäin.



**Kuvio 23 Luonnonvarojen kokonaiskäytön rakenne materiaaliryhmittäin 1970–1999 (Tiedot: TMRFIM1.2)**

**Taulukko 7 Luonnonvarojen kokonaiskäyttö materiaaliryhmittäin**

	Miljoonaa tonnia				Prosenttia			
	1970	1980	1990	1999	1970	1980	1990	1999
<b>Maatalous, kalastus</b>	19	21	22	26	6	6	5	5
<b>Metsätalous</b>	65	69	67	88	21	19	15	17
<b>Mineraalit</b>	40	77	120	154	13	21	26	30
<b>Rakentamisen maa-ainekset</b>	143	132	167	132	46	36	36	26
<b>Jalosteiden tuonti</b>	47	67	87	110	15	18	19	22
<b>Yhteensä</b>	<b>314</b>	<b>367</b>	<b>462</b>	<b>508</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

(mukaillen Mäenpää ym. 2000, 15; TMRFIN1.2)

Suomen luonnonvarojen kokonaiskäytön koostumus on muuttunut kolmessa vuosikymmenessä. Maatalouden ainevirtojen osuus on säilynyt lähes muuttumattomana. Metsätalouden osuus on jonkin verran laskenut 1970-luvulta. Vaihtelut TMR:n kehityksessä johtuvat toisaalta suhdannevaihteluista, jotka vaikuttavat erityisesti soran ja maa-ainesten käyttöön. Toisaalta

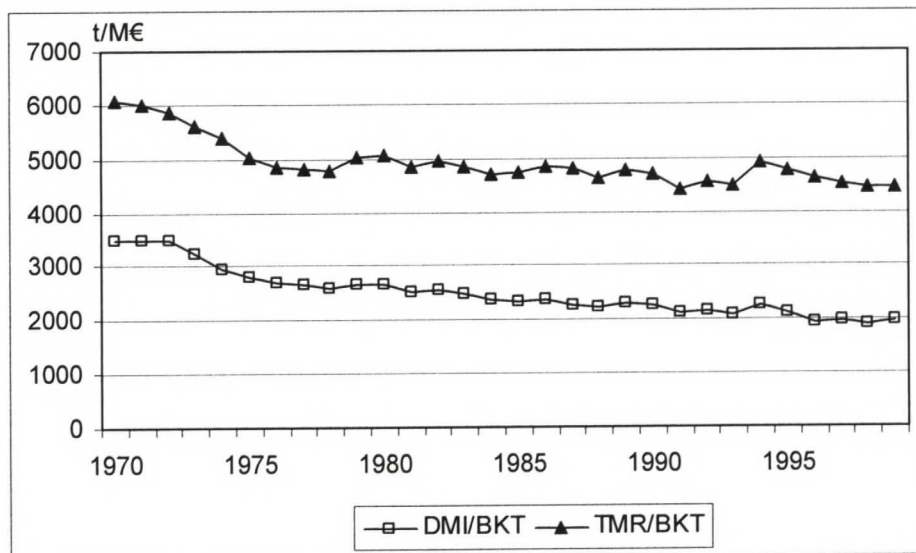
tuonnin ja etenkin mineraalien piilovirtojen kasvu on lisännyt luonnonvarojen kokonaiskäyttöä. Kun 1970-luvulla puun ja rakentamisen maa-ainesten osuus oli suuri, mineraalien ja tuonnin merkitys on kasvanut 1990-luvulla.

## **6.6. Suomen materiaali-intensiteetti**

Materiaali-intensiteetin perusteella voidaan tarkastella suhteellista dematerialisaatiota. Mäkelän (1985, 9) mukaan kansantalouden materiaali-intensiteettiin vaikuttaa talouden kehitysvaihe ja sen asema kansainvälisessä työnjaossa. Myös luonnonvarojen suhteellinen runsaus on otettava huomioon, minkä vuoksi pelkän materiaali-intensiteetin perusteella ei ole helppoa päätellä, onko kansantalouden luonnonvarojen käyttö tuhlaavaa. Talouden kehityksen alkuvaiheessa luonnonvaroja kuluu paljon infrastruktuurin rakentamiseen.

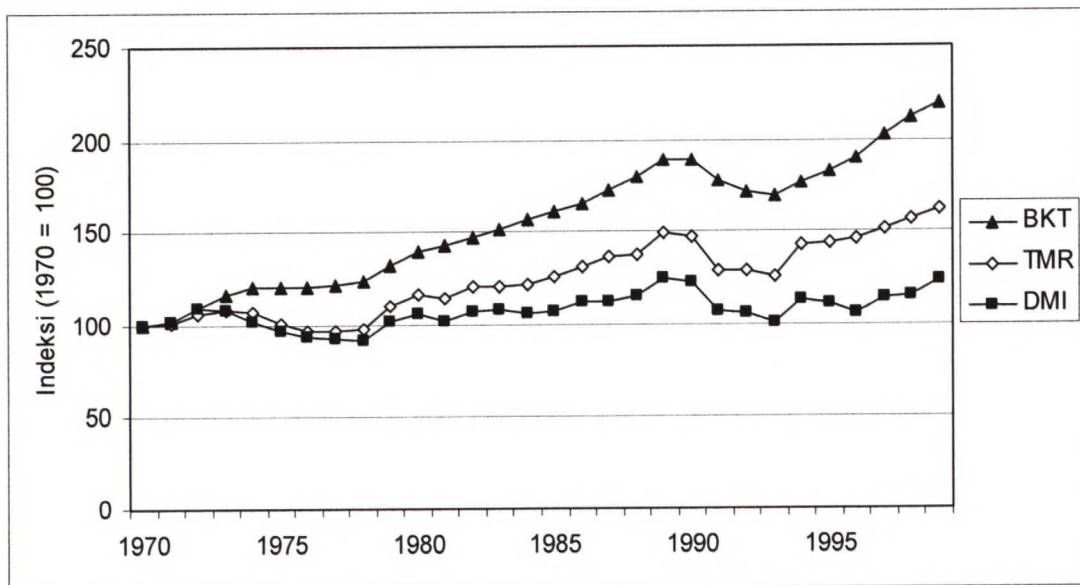
Merkittävä osa Suomen luonnonvarojen käytöstä selittyy ulkomaankaupan rakenteella (Mäkelä 1985, 20). Suomessa teollisuuden kehitys on perustunut metsävarojen ja halvan energian hyödyntämiseen (Hoffrén ym. 2000). Metsä- ja metalliteollisuuden tuotteilla onkin ollut erityisen vahva asema Suomen viennissä. Laine (1994, 22) ennusti Suomen materiaali-intensiteetin laskevan tuotannon siirtyessä materiaali-intensiivisiltä aloilta teknologian, informaatiotekniikan ja palvelujen suuntaan. Kuvio 24 esittää Suomen materiaali-intensiteetin kehityksen mitattuna luonnonvarojen kokonaiskäytön (TMR) sekä suorien panosten (DMI) suhteena kiinteähintaiseen bruttokansantuotteeseen (BKT).





**Kuvio 24 TMR/BKT ja DMI/BKT 1970–1999, tonnia/milj. euroa vuoden 1995 hintoihin** (mukaiillen Mäenpää ym. 2000, 16; TMRFIN1.2)

Suomen materiaali-intensiteetti on laskenut vuodesta 1970 sekä TMR:llä että DMI:llä mitattuna (Mäenpää ym. 2000, 16). Talouskasvu on siis ollut nopeampaa kuin materiaalien käytön kasvu, mikä viittaa suhteelliseen dematerialisaatioon. 70-luvun alussa luonnonvarojen käyttö tehostui energiakriisin vaikutuksesta voimakkaasti. Sen jälkeen kehitys on ollut hieman tasaisempaa ja materiaali-intensiteetti on muutamina vuosina myös kasvanut. Kuviossa 25 on kuvattu kiinteähintaisen BKT:n (vuoden 1995 hintoihin), TMR:n ja DMI:n suhteellinen kehitys indeksinä (perusvuosi 1970 = 100).



**Kuvio 25 TMR, DMI ja BKT indeksikehitys 1970–1999 (Tiedot: TMRFIN1.2)**

Talous kasvoi tarkasteluajanjaksolla yli kaksinkertaiseksi kiinteähintaisella BKT:lla mitattuna ja luonnonvarojen kokonaiskäyttö yli puolitoistakertaiseksi. Suorien panosten käytön kasvu on ollut huomattavasti vähäisempää TMR:ään verrattuna.

Luonnonvarojen kokonaiskäyttö asukasta kohti kasvoi Suomessa noin 45 prosentilla 68 tonnista 98 tonniin vuosina 1970–1999 (TMRFIN1.2). Lamavuosina 1970- ja 1990-luvulla teollisuustuotannon supistuminen laski hetkellisesti luonnonvarojen käyttöä asukasta kohti. Suomen luonnonvarojen käyttö henkeä kohti on kansainvälisesti korkealla tasolla. Mäenpää ym. (2000) ovat verranneet Suomen tuloksia Adriaansen ym. (1997) tutkimustuloksiin. Vuonna 1994 luonnonvarojen käyttö henkeä kohti oli Suomessa 88 tonnia, kun se oli Japanissa ja Saksassa 45 tonnia, Hollannissa 67 tonnia ja Yhdysvalloissa 84 tonnia. Osittain Suomen korkea luku selittyy vertailumaita alhaisemmalla väentiheydellä. Toisaalta harvaanasutussa maassa etäisyydet ovat pitkiä ja infrastruktuurin tarve henkeä kohti on suuri, mikä selittää maa-ainesten korkean käytön Suomessa. Lisäksi väkilukuun suhteutettuna Suomessa on runsaasti luonnonvaroja. Metsävarojen osuus Suomen materiaalien käytöstä on korkea ja Suomen viennistä merkittävä osa on vähän prosessoituja tuotteita. (Mäenpää & Juutinen 2002) Suomen suorat ainepanokset eivät ole täysin vertailukelpoisia Yhdysvaltojen, Saksan, Japanin ja Hollannin suorien ainepanosten kanssa (Hoffrén ym. 2000). Tämä johtuu siitä, että Adriaansen ym. (1997) tekemässä

vertailututkimuksessa monet piilovirroiksi määritellyt ainevirrat on Suomen tilinpidossa laskettu suorina ainevirtoina.

Eri maiden luonnonvarojen käytön vertailussa on otettava huomioon erot maiden talouden ja teollisuuden rakenteissa. Esimerkiksi laivanrakennusteollisuuden käyttämät luonnonvarat lasketaan Suomen luonnonvarojen kokonaiskäyttöön, vaikka teollisuuden koko tuotanto menisi vientiin eli loppukulutus tapahtuisi ulkomailla. Toisaalta jos Suomessa pystytään materiaali-intensiivisillä toimialoilla tehokkaampaan tuotantoon kuin muualla, globaalilla tasolla tuotannon lisääminen säästää luonnonvaroja, vaikka Suomen materiaali-intensiteetti kohoaisikin (Mäenpää ym. 2000, 76).

#### **6.7. Luonnonvarojen kokonaiskäyttö päästökehitykseen verrattuna**

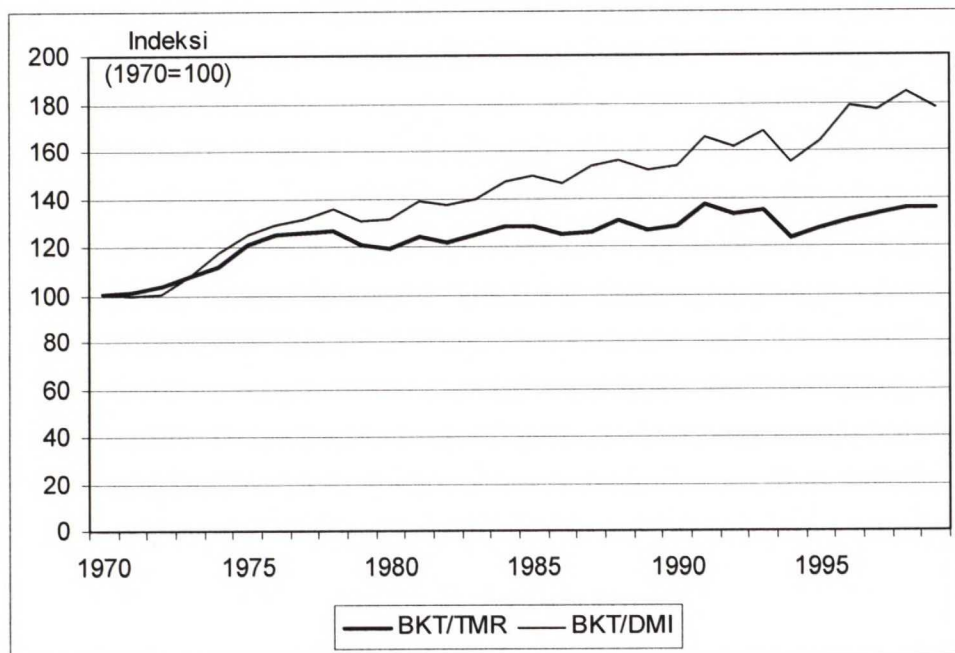
TMR:ää on pidetty karkeana yleisen ympäristörasituksen indikaattorina, sillä aineen ja energian häviämättömyyden mukaan oletetaan, että mitä menee talouteen sisään, tulee myös sieltä ulos. Ajatuksen paikkansapitävyyttä voi tutkia vertaamalla luonnonvarojen kokonaiskäyttöä päästöihin.

Dahlbo ym. (2003) ovat tutkineet, millaisen kuvan luonnonvarojen kokonaiskäyttö TMR antaa Suomen ekotehokkuuden kehityksestä muihin ympäristörasituksen indikaattoreihin verrattuna. Aineistona on käytetty Thule-instituutin TMR-laskelmia (Mäenpää ym. 2000) ja Suomen ympäristökeskuksen sekä Tilastokeskuksen päästötilastoja. Päästöjä on tarkasteltu sekä tonnimääräisinä että kahdella eri kokonaisvaikutusindikaattorilla (DAIA ja Ekoindikaattori 95). Indikaattoreissa erilaiset päästöt on yhteismitallistettu vaikutusarviointimenetelmällä, joka on kehitetty elinkaariarvioinnin tulosten tulkitsemista varten. Päästöt on ensin jaoteltu vaikutusluokkiin, jotka kuvaavat erilaisia ympäristöongelmia. Kunkin vaikutusluokan päästömäärät on sitten kerrottu ns. karakterisointikertoimilla, jotta erilaiset päästöt voidaan laskea yhteen. Indikaattoreilla siis kuvataan eri päästöjen kokonaisvaikutusta ympäristöön (Dahlbo ym. 2003, 16). Suomen ekotehokkuutta on arvioitu tutkimuksessa vuosina 1980–1997 absoluuttisesti TMR:llä ja päästöindikaattoreilla sekä suhteellisesti kiinteähintaisen BKT:n suhteena TMR:ään ja päästöindikaattoreihin.



Selvityksen mukaan TMR ja päästöindikaattorit antavat erilaisen kuvan Suomen ympäristön tilasta. Luonnonvarojen kokonaiskäyttö, samoin kuin energian kokonaiskulutus, on lamavuosia lukuun ottamatta kasvanut yhdenmukaisesti BKT:n kanssa. TMR:n perusteella ympäristörasitus on lisääntynyt Suomessa 1980- ja 1990-luvuilla erityisesti ulkomaisten piilovirtojen kasvun myötä (Dahlbo ym. 2003, 30). Kuitenkin päästöt ovat samalla aikavälillä vähentyneet voimakkaasti BKT:n kasvusta huolimatta. Vaikka TMR:n perusteella absoluuttista ekotehostumista ei ole tapahtunut, päästökehityksellä arvioituna ekotehokkuus on merkittävästi parantunut Suomessa. (Mt. 33) BKT/TMR on pysynyt melko muuttumattomana vuoden 1980 tasolla koko tarkasteluajanjaksona. Indeksien vaihtelut ovat hyvin pieniä päästöindikaattoreiden merkittävään ekotehostumiseen verrattuna.

Kuviossa 26 on esitetty BKT/TMR:n kehitys vuosina 1970–1999. Aikasarja on pidempi kuin Dahlbon ym. (2003, 23) julkaisussa, mutta tiedot ovat peräisin samasta laskentatietokannasta (TMRFIN1.2). Lisäksi indeksin mittakaava on pienempi, jotta ajallinen kehitys nähdään tarkemmin. Kuvaan on lisätty myös BKT/DMI:n kehitys.



**Kuvio 26 Ekotehokkuuden BKT/TMR ja BKT/DMI indeksikehitys 1970–1999 (Tiedot: TMRFIN1.2)**

BKT/TMR osoittaa lievää ekotehostumista. 1970-luvun suhteellisen nopean ekotehostumisen jälkeen kehitys on tasaantunut. 1990-luvun puolivälistä BKT/TMR on taas kasvanut. Indeksien arvo vuonna 1999 on 136 (114, jos 1980=100). Kun BKT suhteutetaan suoriin panoksiin, havaitaan suurempi ekotehostuminen kuin luonnonvarojen kokonaiskäytöllä. Vuoden 1970 lähtötasoon verrattuna vuonna 1999 BKT/DMI-indeksien arvo on yli puolitoistakertainen, 178. Dahlbon ym. (2003) tutkimuksessa ei ole erikseen tarkasteltu ekotehokkuutta suorien panosten perusteella. Vertailu osoittaa jälleen, kuinka piilovirtojen ottaminen tarkasteluun muuttaa kuvaa luonnonvarojen käytön tehokkuudesta. Mäenpään ja Juutisen (2002) mukaan erityisesti tuonnin piilovirrat on tärkeä ottaa huomioon, sillä ilman niitä kotimaisten luonnonvarojen korvaaminen ulkomaisilla näyttäytyisi resurssitehokkuuden paranemisena, vaikka se todellisuudessa siirtää luonnonvarojen käytön aiheuttaman kuormituksen kotimaan ulkopuolelle.

Dahlbo ym. (2003, 33) toteavat, että luonnonvarojen kokonaiskäytössä korostuvat sellaiset ainevirrat, joilla ei ole merkitystä ympäristölle haitallisten päästöjen aiheuttajana tai selittäjänä, esimerkiksi rakentamisen ja kaivostoiminnan maansiirrot. TMR kuvaa indikaattorina enemmän maankäytön ympäristövaikutuksia kuin päästöjen aiheuttamaa ympäristökuormitusta. Maankäyttö aiheuttaa muutoksia luonnonolosuhteissa ja vaikutuksia maisemaan, kulttuuriympäristöön ja virkistysmahdollisuuksiin, mutta näille ei ole olemassa valmiita mittareita (Mt. 14). TMR:n yksinkertaisen laskentatavan vuoksi sitä voidaan heidän mukaansa pitää lähinnä suuntaa-antavana, ympäristökuormitusta ennakoivana indikaattorina. (Mt. 33).

Päästöjen väheneminen Suomessa johtuu ympäristölupamääräysten tiukentumisesta, puhdistuslaitosten ja -laitteiden käyttöönotosta sekä prosessimuutoksista (Dahlbo ym. 2003, 18). Kuitenkin energian kulutus ja siten myös hiilidioksidipäästöt ovat lisääntyneet vuosina 1980–1997. Hiilidioksidipäästöjen kehitys poikkeaa selkeästi muista päästöistä, sillä niiden poistamiseksi on vielä olemassa teknistaloudellisesti kannattavaa ratkaisua.

Hoffrénin (1998, 31) mukaan Suomen ympäristölainsäädäntö suosii luonnonvarojen kulutusta. Esimerkiksi malmin etsintä on kaivoslain mukaan sallittua ilman maanomistajan lupaa, samoin kuin valtauksen tekeminen ja koelouhinta toisen maalla. Nykyinen lainsäädäntö keskittyy lähinnä haitallisten päästöjen ja jätteen määrän vähentämiseen sekä maisemien suojeluun. Se ei juurikaan

kannusta säästävään luonnonvarojen käyttöön. Luonnonvarojen käyttöä ohjaavat hinnat eivät yleensä sisällä kaikkia käyttöönoton ja hyödyntämisen ulkoiskustannuksia (mm. haitallisten ympäristövaikutusten kustannukset).

## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tarkastellut tutkimukset Suomen luonnonvarojen käytöstä antavat toisistaan poikkeavan kuvan käytön määrästä tonneissa mitattuna. Erot selittyvät sillä, mitä materiaaliryhmiä laskelmiin sisällytetty. Suhteelliset muutokset ja luonnonvarojen käytön rakenne materiaaliryhmittäin ovat kuitenkin samaa suuruusluokkaa. Suomen luonnonvarojen kokonaiskäyttö on kasvanut yli puolitoistakertaiseksi vuodesta 1970 vuoteen 1999 (TMRFIN1.2). Primäärimateriaalien kokonaiskulutus on lähes kaksinkertaistunut vuodesta 1960 vuoteen 2000 (Hoffrén 2001). Suomen luonnonvarojen käyttö henkeä kohti on kansainvälisesti korkealla tasolla.

Myös luonnonvarojen käytön rakenne on muuttunut. Piilovirtojen ja tuonnin ainevirtojen määrä on kasvanut merkittävästi. Erityisesti kotimaisten mineraalien ehtyminen on lisännyt mineraalien tuonnin myötä piilovirtoja. Luonnonvarojen käyttöönottoon liittyviä ympäristövaikutuksia on piilovirtojen myötä siirtynyt Suomesta ulkomaille. Rakentamisen maa-ainekset hallitsevat luonnonvarojen kokonaiskäyttöä ja niiden käyttö on hyvin riippuvaista talouden suhdanteista. Viennin osuus luonnonvarojen kokonaiskäytöstä on suuri, noin 50 prosenttia, joten vain puolet kokonaiskäytöstä päättyy kotimaiseen loppukulutukseen.

Luonnonvarojen käyttö on seurannut talouden kehitystä. Talouskasvu on kuitenkin ollut luonnonvarojen käytön kasvua nopeampaa: bruttokansantuotteella mitattuna talous on kasvanut 1970-luvulta vuoteen 1999 yli kaksinkertaiseksi (TMRFIN1.2). Se että talous on kasvanut enemmän kuin luonnonvarojen käyttö, on merkki suhteellisesta dematerialisaatiosta eli talouskasvun ja luonnonvarojen käytön irtikytkenästä. Suorilla panoksilla mitattuna suhteellinen dematerialisaatio on ollut vielä voimakkaampaa kuin kokonaiskäytöllä mitattuna. Lisäksi monet päästöt ovat vähentyneet Suomessa. Tämän perusteella voidaan päätellä, että Suomen talouskasvu on muuttunut jonkin verran kestävämmäksi. Absoluuttista dematerialisaatiota ei



kuitenkaan ole tapahtunut, lamavuosia lukuun ottamatta. Nykykehityksen valossa ei ole kovin todennäköistä, että luonnonvarojen käyttö vähenisi lähitulevaisuudessa.

TMR eli luonnonvarojen kokonaiskäyttö ottaa huomioon talouden piilovirrat ja tuonnin ainevirrat. Tämän vuoksi se antaa todellisemman kuvan talouden aineperustasta kuin pelkät suorat panokset. Käytön mittaaminen tonneina ei välttämättä ole kovin tarkoituksenmukaista, sillä se tarjoaa vain arvion luonnonvarojen käytön suuruusluokasta. Hyödyllisempää on tarkastella ainevirtojen rakennetta ja käytön trendejä. Vain yksityiskohtaisemman ainevirtojen luokittelun perusteella voidaan arvioida muutostarpeita.

Ainevirtatilinpidon lähtöoletuksena on, että talouden aiheuttama ympäristörasitus johtuu talouden läpi kulkevan aineen määrästä. Luonnonvarapanosten käyttö ei kuitenkaan ole suoraan yhteydessä päästöjen kehitykseen. TMR ei siis ole ympäristörasitusta kuvaava indikaattori, sillä se ei ota huomioon ainevirtojen ympäristövaikutuksia. TMR- ja päästöindikaattorit mittaavat eri asioita, eivätkä siten ole suoraan verrannollisia. Esimerkiksi rakentamisen maa-ainekset hallitsevat Suomen luonnonvarojen kokonaiskäyttöä, mutta niiden aiheuttamat ympäristövaikutukset eivät välttämättä ole yhtä haitallisia kuin vaikkapa myrkylliset jätteet ja päästöt. Pelkkä luonnonvarojen käytön kasvu ei siis automaattisesti lisää ympäristöhaittoja.

Dematerialisaation mittaamiseen TMR on varteenotettava indikaattori. Luonnonvarojen käyttöä mittaamalla voidaan arvioida erityisesti käytön tehokkuutta. TMR:n avulla saadaan tietoa kansantalouden luonnonvarariippuvuudesta. Sen avulla voidaan myös arvioida luonnonvarojen kokonaiskäytön rakennetta ja tehdä kansainvälisiä vertailuja, mikäli mittausstandardit ovat yhdenmukaiset.

TMR:n ja päästöindikaattorien erilainen kehitys kertoo ympäristöpolitiikan suuntauksista. Päästöjen väheneminen osoittaa, että päästöjen torjuntaan keskittynyt ympäristöpolitiikka on suhteellisen hyvin onnistunut tehtävässään. Luonnonvarojen käyttöä tehostamalla voidaan edelleen vähentää päästöjä, mutta samalla säästettäisiin myös luonnonvaroja. Tämä edellyttäisi, että poliittisilla ohjauskeinoilla vaikutettaisiin aineellisen tuotannon ja kulutuksen määrään ja talouden rakenteisiin.

Yksityiskohtaisten ja luotettavien ainevirtatilastojen kerääminen on työlästä. Ainevirtatilinpidon tuloksia analysoitaessa on otettava huomioon, mitä osa-alueita on jäänyt mittauksen ulkopuolelle. Puutteet datassa vaikuttavat suoraan talouden ainevirroista tehtäviin johtopäätöksiin. Toimialoja vertailtaessa on huomioitava, miltä toimialoilta on saatu luotettavaa dataa ja mitkä toimialat ovat jääneet pelkkien arvioiden varaan tai kokonaan tilastoimatta. Esimerkiksi Suomessa on erityisen hyvät tilastot metsäteollisuudesta ja puun käytöstä pitkältä ajanjaksolta (Tilastokeskus 1992, 9). Ainevirtojen mittaamisessa tulisi kiinnittää huomiota siihen, mitä ainevirtoja on järkevää mitata ja mitä hyötyä niiden mittaamisesta saadaan.

Ainevirtatilinpito täydentää taloudellisen tilinpidon antamaa kuvaa kansantaloudesta. BKT on yleisesti käytetty ja hyväksytty talouskasvun mittari. Vastaavanlainen indikaattori olisi tarpeen mittaamaan luonnonvarojen kokonaiskäyttöä ja edistämään kestävä kehitystä. TMR on paras tähän mennessä kehitetyistä indikaattoreista, vaikka sillä on omat heikkoutensa. Tarvittava aineisto ei välttämättä ole helposti saatavilla tai koottavissa. TMR on kuitenkin helposti ymmärrettävä indikaattori ja sopii yhteen kansantalouden tilinpidon kanssa. (ks. Eurostatin kriteeristö luvussa 5.3).

Ainevirtojen nykyistä tarkempi luokittelu lisäisi indikaattorin käytettävyyttä poliittisessa päätöksenteossa. Ainevirtojen mittaamista on kritisoitu siitä, ettei ainevirtojen erilaisia ympäristövaikutuksia oteta riittävästi huomioon. Kuten tutkielmassa on todettu, luonnonvarojen käyttö ei ole suoraan yhteydessä päästökehitykseen. Tämän vuoksi luonnonvarapanoksia mitattaessa olisi tärkeämpää kiinnittää huomiota luonnonvarojen uusiutuvuuteen ja uusiutumattomuuteen kuin ympäristövaikutuksiin. Erityisesti tulisi keskittyä sellaisiin uusiutumattomiin ainevirtoihin, joiden käytöstä talouden kehitys on erityisen riippuvainen, kuten fossiiliset polttoaineet. Jotta tätä riippuvuutta voitaisiin vähentää, tarvitaan kattavaa tietoa toimialoittain fossiilisten polttoaineiden käytöstä ja käytön tehokkuudesta. Talouden aineellisia panoksia mittaamalla voidaan arvioida näiden varantojen riittävyyttä kulutuksen suhteen.

Vahva kestävä kehitys edellyttää, että uusiutuvien luonnonvarojen käyttö ei saa ylittää niiden uusiutumismuuttajia. Lisäksi uusiutumattomille luonnonvaroille tulisi etsiä uusiutuvia

substituutteja. Ainevirtatilinpidon tulisi kehittää siten, että se ottaisi nykyistä paremmin huomioon kriittisen luonnonpääoman ja sen säilyttämisen. Eri maiden ominaispiirteet tulisi ottaa huomioon, kun valitaan ainevirtatilinpidon aineryhmiä. Tavallisesti vesi jätetään laskelmien ulkopuolella, mutta esimerkiksi kuivuudesta kärsivissä maissa olisi tärkeää seurata makean veden kulutuksen rakennetta ainevirtatilinpidolla. Taloudellisen ja ekologisen kestävyys turvaamisessa kriittisellä luonnonpääomalla on merkitystä, koska sille ei ole substituutteja.



## LÄHTEET

- Adriaanse, A., Bringezu, S., Hammond, A., Moriguchi, Y., Rodenburg, E., Rogich, D., Schütz, H. (1997) *Resource Flows: The Material Basis of Industrial Economies*. World Resources Institute, Wuppertal Institute, Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, National Institute for Economic Studies. USA.
- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C.S., Jansson, B.-O., Levin, S., Mäler, K.-G., Perrings, C., Pimentel, D. (1995) Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological Economics* 15, 91–95.
- Arrow, K., Dasgupta, P., Goulder, L., Daily, G., Ehrlich, P., Heal, G., Levin, S., Mäler, K.-G., Schneider, S., Starrett, D., Walker, B. (2004) Are we consuming too much? *Journal of Economic Perspectives* 18(3), 147–172.
- Atkinson, G., Dubourg, R., Hamilton, K., Munasinghe, M., Pearce, D., Young, C. (1997) *Measuring Sustainable Development. Macroeconomics and the Environment*. Edward Elgar, UK.
- Ayres, R.U., Kneese, A.V. (1969) Production, Consumption, and Externalities. *American Economic Review* 59, 282–297.
- BCSD (1993) *Getting Eco-efficient*. Report of the Business Council for Sustainable Development. First Antwerp Eco-Efficiency Workshop November 1993.
- Bianciardi, C., Tiezzi, E., Ulgiati, S. (1993) Complete recycling of matter in the frameworks of physics, biology and ecological economics. *Ecological Economics* 8, 1–5.
- Boulding, K.E. (1966) The Economics of the Coming Spaceship Earth. <http://www.geocities.com/RainForest/3621/BOULDING.HTM>, tarkistettu 10.5.2006
- Bringezu, S., Kleijn, R. (1997) Short Review of the MFA work presented. Teoksessa: Bringezu, S., Fischer-Kowalski, M., Kleijn, R., Palm, V. (toim.). *Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability*. Proceedings of the ConAccount workshop 21-23 January, 1997, Leiden, The Netherlands. Wuppertal Special 4. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. 326–328.
- Bringezu, S., Schütz, H., Moll, S. (2003) Rationale for and Interpretation of Economy-Wide Materials Flow Analysis and Derived Indicators. *Journal of Industrial Ecology* 7(2), 43–64.
- Brown, L.R., Abramovitz, J.N., Bright, C., Dunn, S., Flavin, C., French, H.F., Gardner, G., McGinn, A.P., Mitchell, J., Renner, M., Tuxill, J. (1998) Maailman tila 1998. Worldwatch Institute: Raportti kehityksestä kohti kestävää yhteiskuntaa. Gaudeamus, Helsinki.
- Cabeza Gutes, M. (1996) The concept of weak sustainability. *Ecological Economics* 17, 147–156.

Carson, R. (1962). *Silent spring*. Houghton Mifflin, Boston.

Cleveland, C.J., Ruth, M. (1999) Indicators of Dematerialization and the Materials Intensity of Use. *Journal of Industrial Ecology* 2, 15–50.

Cole, H.S.D., Freeman, C., Jahoda, M., Pavitt, K.L.R. (1973) *Thinking About the Future. A Critique of The Limits to Growth*. Sussex University Press/Science Policy Research Unit, Great Britain.

Costanza, R., Daly, H.E., Bartholomew, J.A. (1991) Goals, Agenda and Policy Recommendations for Ecological Economics. Costanza, R. (toim.). *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*. Columbia University Press, New York. 1–20.

Dahlbo, H., Seppälä, J., Tenhunen, J., Pylkkö, T., Lohi, T.-K. (2003) *Ympäristövaikutusten kuvaaminen ekotehokkuuden arvioinnissa*. Suomen ympäristö 617. Suomen ympäristökeskus. Edita, Helsinki.

Daly, H.E., Cobb, J.B. Jr. (1989) *For the Common Good. Redirecting the Economy toward Community, the Environment, and a Sustainable Future*. Beacon Press, Boston, Massachusetts.

Daly, H.E. (1992) *Steady-state economics. Second edition with new essays*. Earthscan Publications, London. Alkuteos (1977): Steady-State Economics.

Dasgupta, P. (2001) *Human Well-Being and the Natural Environment*. Oxford University Press, New York.

El Serafy, S. (1991) The Environment as Capital. Costanza, R. (toim.). *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*. Columbia University Press, New York.

Eurostat (2001) *Economy-wide material flow accounts and derived indicators. A methodological guide*. 2000 Edition. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Georgescu-Roegen, N. (1971) *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Goodland, R., Daly, H. (1996) Environmental Sustainability: Universal and Non-Negotiable. *Ecological Applications* 6(4), 1002–1017.

Hartwick, J.M. (1977) Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources. *The American Economic Review* 67(5), 972–974.

Haukioja, T., Kaivo-oja, J. (1998) Talouskasvu ja ympäristö: kestämatöntä vai kestävää kasvua teollisuusmaissa? *Kansantaloudellinen aikakauskirja* 94, 49–58.

- Hediger, W. (1999) Reconciling "weak" and "strong" sustainability. *International Journal of Social Economics* 26(7), 1120–1144.
- Hediger, W. (2000) Sustainable development and social welfare. *Ecological Economics* 32, 481–492.
- Heiskanen, E., Halme, M., Jalas, M., Kärnä, A. Lovio, R. (2001) *Dematerialization: The Potential of ICT and Services*. The Finnish Environment 533. Ministry of the Environment, Environmental Protection Department. Edita, Helsinki.
- Helminen, R. (1998) *Eco-efficiency in the Finnish and Swedish Pulp and Paper Industry*. Acta Polytechnica Scandinavica. Mathematics, Computing and Management in Engineering Series No. 90. Espoo.
- Hicks, J. (1974) Capital Controversies: Ancient and Modern. *The American Economic Review* 64(2), 307–316.
- Hinterberger F., Luks F., Schmidt-Bleek F. (1997) Material flows vs. 'natural capital'. What makes an economy sustainable? *Ecological Economics* 23, 1–14.
- Hoffrén, J. (1994) *Ympäristotaloustieteen perusteet*. Gaudeamus, Helsinki.
- Hoffrén, J. (1997) Luonnonvarojen käytön verotus. Tarpeiden ja vaikutusten arviointia. Katsauksia 1997/14. Tilastokeskus. Edita, Helsinki.
- Hoffrén, J. (1998) *Materiaalivirtatilinpito Luonnonvarojen kokonaiskulutuksen seurantavälineenä*. Suomen Ympäristö 257. Ympäristöministeriö. Ympäristönsuojeluosasto. Edita, Helsinki.
- Hoffrén, J. (1999) Talous hyvinvoinnin ja ympäristöhaittojen tuottajana – Suomen ekotehokkuuden mittaaminen. Tutkimuksia 226. Tilastokeskus. Yliopistopaino, Helsinki.
- Hoffrén, J. (2001) *Measuring the Eco-efficiency of Welfare Generation in a National Economy. The Case of Finland*. Tutkimuksia 233. Tilastokeskus. Hakapaino, Helsinki
- Hoffrén J., Luukkanen J., Kaivo-oja J. (2000) Decomposition Analysis of Finnish Material Flows: 1960–1996. *Journal of Industrial Ecology* 4(4), 105–125.
- Holland, A. (1997) Substitutability. Or, why strong sustainability is weak and absurdly strong sustainability is not absurd. Teoksessa: Foster, J. (toim.). *Valuing Nature? Ethics, economics and the environment*. Routledge, London. 119–134.
- IUCN (1980) *The World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development*. International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources. Gland.



Jalas, M. (2001a) Dematerialization and Structural Changes Through Services: Propositions and Research Approaches. Teoksessa: Heiskanen, E., Halme, M., Jalas, M., Kärnä, A. Lovio, R. *Dematerialization: The Potential of ICT and Services*. The Finnish Environment 533. Ministry of the Environment, Environmental Protection Department. Edita, Helsinki. 37–58.

Jalas, M. (2001b) Measuring Dematerialization at the Level of Products. Teoksessa: Heiskanen, E., Halme, M., Jalas, M., Kärnä, A. Lovio, R. *Dematerialization: The Potential of ICT and Services*. The Finnish Environment 533. Ministry of the Environment, Environmental Protection Department. Edita, Helsinki. 93–107.

James, D.E., Nijkamp, P., Opschoor, J.B. (1989) Ecological Sustainability and Economic Development. Teoksessa: Archibugi, F, Nijkamp, P. (toim.). *Economy and Ecology: Towards Sustainable Development*. P. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. 27–48.

Karttunen, H. (2004) *Tiedettä kaikille: Fysiikka*. Tähtitieteellinen Yhdistys Ursa, Helsinki.

KTM (1998) *Ekotehokkuus ja factor-ajattelu*. Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä- ja toimikuntaraportteja 1/1998. Ekotehokkuustyöryhmä. Edita, Helsinki.

Laine, U. (1994) *Luonnonvarojen käyttö Suomessa*. VATT-Keskustelualoitteita 64. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Helsinki.

Lavonen, J., Kurki-Suonio, K., Hakulinen, H. (1995) *Galilei 2 - Lämpö ja energia*. Weilin+Göös, Espoo.

Lehtonen, M. (2004) The environmental–social interface of sustainable development: capabilities, social capital, institutions. *Ecological Economics* 49, 199–214.

Lélé, S.M. (1991). Sustainable Development: A Critical Review. *World Development* 19(6), 607–621.

Lomborg, B. (2001) *The Sceptical Environmentalist*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Malthus, T.R. (1970) *An Essay on the Principle of Population and a Summary View of the Principle of Population*. Edited with an Introduction by Anthony Flew. Penguin Books, Middlesex, England. Engl. alkuteos: *An Essay on the Principles of Population* (1817).

Matthews, E., Aman, C., Bringezy, S., Fischer-Kowalski, M., Hüttles, W., Kleijn, R., Moriguchi, Y., Ottke, C., Rodenburg, E., Rogich, D., Schandl, H., Schütz, H., van der Voet, E., Weisz, H. (2000) *The Weight of Nations. Material Outflows from Industrial Economies*. World Resources Institute, Washington D.C.

Meadows, D.L., Behrens III, W.W., Meadows, D.H., Naill, R.F., Randers, J., Zahn, E.K.O. (1974) *Dynamics of Growth in a Finite World*. Wright-Allen Press, Cambridge, Massachusetts.

Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens III, W.W. (1973) *Kasvun rajat*. Tammi, Helsinki. Engl. alkuteos: *The Limits to Growth – A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind* (1972). Universe Books, New York.

Moll, P. (1991) *From Scarcity to Sustainability. Futures Studies and the Environment: the Role of the Club of Rome*. Verlag Peter Lang GmbH, Frankfurt am Main.

Munasinghe, M. (1999) Is environmental degradation an inevitable consequence of economic growth: tunneling through the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics* 29, 89–109.

Muukkonen, J. (2000) Material flow accounts, TMR, DMI, and material balances, Finland, 1980–1997. Working paper 2/2000/B/1. Eurostat, Luxembourg.

Mäenpää, I. (2005) *Kansantalouden ainevirtatilinpito. Laskentamenetelmät ja käsitteet. Suomen ainetaseet 1999*. Tilastokeskus ja Thule-instituutti, Helsinki.

Mäenpää, I., Juutinen A. (2002) Materials Flows in Finland. Resource Use in a Small Open Economy. *Journal of Industrial Ecology* 5(3), 33–48.

Mäenpää, I., Juutinen, A., Puustinen, K., Rintala, J., Risku-Norja, H., Veijalainen, S., Viitanen, M. (2000) *Luonnonvarojen kokonaiskäyttö Suomessa*. Suomen ympäristö 428. Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto. Edita, Helsinki.

Mäenpää, I., Vanhala, P. (2002) Biologinen aineenvaihdunta ja elintarviketalouden ainevirrat Suomessa 1995. Teoksessa: Risku-Norja, H. (toim.). (2002). *Maatalouden materiaalivirrat, ekotehokkuus ja ravinnontuotannon kestävä kilpailukyky. Aineiston ja menetelmän kuvaus*. MTT:n selvityksiä 27. MTT Taloustutkimus, Helsinki. 32–112.

Mäkelä, P. (1985) *Luonnonvarojen käyttö ja kansantuote: Materiaali-intensiteetin kehitys 1960 – 2000*. Taloudellinen suunnittelukeskus TASKU, Helsinki.

OECD (1998) *Eco-Efficiency*. OECD Publications, France.

OECD (2001) *Sustainable Development. Critical Issues*. OECD Publications, France.

OECD (2003) *Special Session on Material Flow Accounting. Papers and Presentations*. Paris, 24 October 2000. OECD Working Group on Environmental Information and Outlooks.

*Otavan Suuri Ensyklopedia* 9, sukunimi – turbiini (1981) Otava, Helsinki.

Pearce, D., Markandya, A., Barbier, E.B. (1989) *Blueprint for a Green Economy*. Earthscan Publications, London.

Pearce, D., Turner, R.K. (1990) *Economics of Natural Resources and the Environment*. Harvester Wheatsheaf, Hertfordshire.

Pearce, D.W., Wardorf, J.J. (1993) *World without End. Economics, Environment, and Sustainable Development*. The International Bank for Reconstruction and Development/ World Bank. Oxford University Press, New York.

Perman, R., Ma, Y., McGilvray, J., Common, M. (1999) *Natural Resource and Environmental Economics. Second Edition*. Pearson Education, Essex, England.

Reijnders, L. (1998) The Factor X Debate: Setting Targets for Eco-Efficiency. *Journal of Industrial Ecology* 2(1), 13–22.

Ricardo, D. (1926) *Principles of Political Economy and Taxation*. Dent, London. Uusintapainos.

Rissa, K. (2001) *Ekotehokkuus – enemmän vähemmästä*. Edita. Helsinki.

Schmidheiny, S., Zorraquin, F. (1996) *Financing Change: the Financial Community, Eco-efficiency and Sustainable Development*. World Business Council for Sustainable Development. MIT Press, Cambridge, MA.

Seppälä, J., Jouttijärvi, T. (toim.) (1997) *Metsäteollisuus ja ympäristö*. Suomen ympäristö 89. Suomen ympäristökeskus. Edita, Helsinki.

Solow, R.M. (1974) Intergenerational Equity and Exhaustible Resources. *The Review of Economic Studies* 41, 29–45.

Solow, R.M. (1986) On the Intergenerational Allocation of Natural Resources. *Scandinavian Journal of Economics* 88(1), 141–149.

Tilastokeskus (1992) Luonnonvaratilinpito 1980–1990. Puuainestilinpito. Ympäristö 1992:3. Hakapaino, Helsinki.

Tilastokeskus (2005) *Luonnonvarat ja ympäristö 2005*. Ympäristö ja luonnonvarat 2005:3. Ympäristöministeriö. Tilastokeskus. SYKE. Hakapaino, Helsinki.

Tilton, J.E. (1996) Exhaustible resources and sustainable development. Two different paradigms. *Resources Policy* 22(1-2), 91–97.

Tisdell, C. (2001) Globalisation and sustainability: environmental Kuznets curve and the WTO. *Ecological Economics* 39, 185–196.

WCED, World Commission on Environment and Development (1987) *Yhteinen tulevaisuutemme – Ympäristön ja kehityksen maailmankomission raportti*. Ulkoasiainministeriö, Ympäristöministeriö. Valtion painatuskeskus, Helsinki. Engl. alkuteos: *Our Common Future*. Oxford University Press.



Ympäristöministeriö (1998) *Hallituksen kestävän kehityksen ohjelma. Valtioneuvoston periaatepäätös ekologisen kestävyys edistämisestä.* Suomen ympäristö 254. Ympäristöministeriö. Ympäristönsuojeluosasto. Edita, Helsinki.

Ulkoministeriö (2002) <http://formin.finland.fi/doc/FIN/Keke/historia.html>, tarkistettu 10.5.2006

Vehmas, J., Luukkanen, J., Kaivo-oja, J. (2003) *Material Flows and Economic Growth. Linking analyses and environmental Kuznets curves for the EU-15 member countries in 1980–2000.* TUTU Publications 8/2003. Finland Futures Research Centre. Turku School of Economics and Business Administration, Finland.

Victor, P.A. (1991). Indicators of sustainable development: some lessons from capital theory. *Ecological Economics* 4, 191–213.

Wernick, I.K., Herman, R., Govind, S., Ausubel, J.H. (1996). Materialization and dematerialization: measures and trends. *Daedalus* 125(2), 171–198.

## MUUT

TMRFIN1.2 – Excel työkirja: Suomen luonnonvarojen käytön tilastointijärjestelmä. Päivitys 21.8.2000. Ympäristöministeriön Ympäristöklusterin tutkimusohjelma Ekotehokas Suomi - projekti. <http://thule.oulu.fi/raportit/tmrfin/tmrfin.htm>, tarkistettu 10.5.2006

## LIITTEET

### Liite 1 Ympäristövaikutusanalyysi: Suomen metsäteollisuus

Suomen metsäteollisuuden ympäristövaikutuksia on arvioitu elinkaariajattelun mukaisella vaikutusanalyysillä. Metsäteollisuuden toimintaan liittyvät ympäristöongelmat on jaoteltu kolmeen pääluokkaan ja pääluokat edelleen yksityiskohtaisempiin ympäristöongelmiin (Seppälä & Jouttijärvi 1997, 12, 72, 88):

1. Luonnonvarojen väheneminen
2. Ekologiset vaikutukset
  - a. Ilmastonmuutos (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, Halo)
  - b. Happamoituminen (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>)
  - c. Otsonin muodostuminen (NO<sub>x</sub>, NMVOC, CO)
  - d. Ekotoksisuus
  - e. Rehevöityminen (NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, P(W), N(W))
  - f. Biodiversiteetin väheneminen
  - g. Happivajaus
3. Viihtyvyyshaitat ja vaikutukset luonnon monikäyttöön
  - h. Haju
  - i. Melu
  - j. Ilman laadun heikkeneminen
  - k. Veden laadun heikkeneminen
  - l. Ulkoiluhaitat
  - m. Maisemahaitat
  - n. Metsästys ja kalastus
  - o. Marjastus ja sienestys
  - p. Poronhoito

**Liite 2 Materiaalien käyttö 1960–1990 (miljoonaa tonnia) (Laine 1994, 35)**

	Kasvinviljely	Raakapuu	Sora	Teollisuus- mineraalit	Metallit	Energia- mineraalit	Yhteensä
1960	8,4	33,0	42,7	5,3	1,1	4,4	94,9
1961	7,7	34,3	43,0	5,7	0,9	4,1	95,7
1962	6,7	33,3	48,2	5,9	0,9	4,3	99,3
1963	7,5	33,8	45,4	6,8	0,9	5,2	99,6
1964	6,9	35,5	56,6	7,2	1,0	5,7	112,9
1965	7,9	35,1	66,7	7,5	1,1	5,9	124,2
1966	7,5	33,9	72,0	7,3	1,3	6,5	128,5
1967	7,7	33,8	60,2	7,0	1,4	7,3	117,4
1968	7,8	34,0	65,3	7,2	1,4	9,3	125,0
1969	7,2	36,4	71,8	8,9	1,7	11,0	137,0
1970	8,5	37,3	78,0	9,0	2,0	11,9	146,7
1971	8,5	35,5	82,6	8,2	1,6	12,1	148,5
1972	8,8	35,6	78,7	9,1	1,8	13,1	147,1
1973	8,5	37,1	77,3	8,9	2,1	13,1	147,0
1974	8,3	35,5	64,8	11,4	2,0	13,7	135,7
1975	9,0	28,1	56,6	8,9	2,1	12,9	117,6
1976	10,3	28,1	54,5	8,5	1,9	16,7	120,0
1977	9,4	28,8	49,4	7,7	1,6	17,7	114,6
1978	10,2	31,8	52,8	7,9	1,4	19,4	123,5
1979	10,8	37,4	59,8	8,6	1,7	20,5	138,8
1980	11,0	38,9	62,4	9,7	2,3	22,0	146,3
1981	9,2	35,9	64,5	9,8	2,2	17,7	139,3
1982	10,9	32,1	69,2	9,8	2,3	16,6	140,9
1983	12,1	33,7	82,0	11,8	2,1	18,4	160,1
1984	11,6	36,1	79,8	11,2	2,3	19,4	160,4
1985	11,4	35,7	84,8	10,1	2,2	21,4	165,6
1986	11,8	35,7	86,3	10,0	2,1	20,1	166,0
1987	8,1	37,5	96,8	11,9	2,1	22,5	178,9
1988	10,3	39,7	91,6	12,9	2,2	22,1	178,8
1989	11,9	40,0	99,6	14,7	2,5	20,9	189,6
1990	12,0	38,3	95,3	14,4	2,3	23,4	185,7
1991	10,9	34,2	84,0	8,9	1,7	24,5	164,2
2005	9,8	42,8	70,0	23,1	2,4	32,0	180,1

**Teollisuusmineraalit:** savi (sis. kaoliini), liitu, bariummineraalit, diatomiitti, maasälpä, fluorisälpä, luonnongrafiitti, kipsikivi, magnesiitti, kiille, fosfaatti, kali, suola, rikki, talkki, titaanimineraali, kvartsi, dolomiitti, liuskekivi, kalkki ja luonnonhiekkä

**Metallit:** teräs, kupari, alumiini, sinkki, tina, lyijy ja nikkeli

**Energiamineraalit:** hiili, maakaasu, raakaöljy ja turve



**Liite 3 Primäärimateriaalien kokonaiskulutus Suomessa 1960–2000 (miljoonaa tonnia)**  
(Hoffrén 2001, 171-172)

	Kaivannaiset	Kiviaines	Fossiiliset polttoaineet	Puuaines	Viljellyt	Muut	Suorat panokset yhteensä	Piilovirrat	Yhteensä
1960	5,2	43,3	6,2	43,5	9,4	1,0	108,7	61,9	170,6
1961	6,4	43,6	6,3	45,7	8,5	1,1	111,6	59,6	171,1
1962	6,7	48,8	6,8	42,1	7,8	1,3	113,6	57,9	171,5
1963	6,6	46,0	7,7	41,6	8,5	1,2	111,6	61,1	172,7
1964	7,5	57,2	9,0	42,9	7,8	1,5	125,8	66,5	192,4
1965	8,1	67,3	10,2	42,0	8,9	2,0	138,5	70,6	209,1
1966	7,9	72,6	11,2	40,5	8,5	1,9	142,6	68,2	210,7
1967	8,2	60,8	11,4	40,6	8,7	1,6	131,3	68,8	200,1
1968	9,0	65,9	12,7	40,4	8,7	1,5	138,2	70,8	209,0
1969	10,4	72,4	14,8	42,9	7,9	2,2	150,7	75,7	226,5
1970	11,3	78,0	14,9	44,2	9,3	2,0	159,7	69,6	229,3
1971	10,7	83,0	14,9	45,1	9,3	1,9	164,9	68,4	233,3
1972	12,5	79,0	16,6	54,2	9,5	1,8	173,6	70,8	244,4
1973	13,8	78,0	18,4	57,8	9,1	2,0	179,1	76,1	255,2
1974	14,5	65,0	16,9	55,6	8,8	2,3	163,2	75,8	239,0
1975	13,6	57,0	16,6	45,6	9,1	2,2	144,1	73,5	217,6
1976	14,1	55,1	19,0	44,9	10,5	1,8	145,5	80,3	225,8
1977	15,5	50,1	19,0	45,2	10,0	1,9	141,7	80,5	222,2
1978	15,3	53,0	21,2	49,2	10,4	2,2	151,3	92,1	243,4
1979	16,2	60,1	21,7	56,7	11,0	2,6	168,3	92,8	261,1
1980	18,6	62,8	22,4	45,5	10,4	3,3	163,0	96,6	259,7
1981	18,2	64,8	18,9	43,4	9,4	2,9	157,7	77,1	234,8
1982	19,2	69,6	18,6	42,1	11,0	3,1	163,6	82,3	246,0
1983	21,2	82,4	19,1	41,3	12,3	2,8	179,0	83,9	262,9
1984	21,9	80,2	20,0	43,3	11,8	3,4	180,6	91,9	272,5
1985	21,4	85,2	22,1	44,0	11,6	3,5	187,8	99,5	287,3
1986	19,3	86,8	21,9	39,5	12,0	3,5	183,0	93,4	276,5
1987	19,2	97,1	23,2	43,0	8,0	3,8	194,3	95,8	290,1
1988	20,1	92,0	22,9	45,5	10,2	3,8	194,4	99,8	294,3
1989	19,8	97,4	22,9	47,0	11,7	4,4	203,2	102,1	305,3
1990	19,7	93,4	23,4	44,0	12,0	4,2	196,7	98,9	295,6
1991	18,1	83,4	23,9	36,0	11,1	4,0	176,5	93,3	269,8
1992	17,3	77,4	22,8	41,7	10,1	4,3	173,6	90,5	264,1
1993	17,8	66,4	23,2	43,7	11,7	4,5	167,4	99,0	266,4
1994	17,9	69,4	25,8	50,9	10,9	5,2	180,1	114,2	294,3
1995	16,0	66,4	24,5	54,4	12,4	4,6	178,2	112,1	290,3
1996	16,4	66,4	27,8	48,9	12,4	4,8	176,7	119,1	295,9
1997	17,2	70,4	26,0	53,9	12,9	5,6	185,9	116,1	302,0
1998	17,3	75,4	25,2	57,9	12,0	5,8	193,6	113,1	306,8
1999	17,6	80,4	23,7	59,3	12,6	5,5	199,0	115,5	314,5
2000	17,4	80,4	22,1	59,9	14,0	5,8	199,6	131,9	331,5

**Kaivannaiset:** kotimainen malmien, kalkin, teollisuusmineraalien louhinta; nostetun hyötykiven määrä;  
**Kiviaines:** nostetun kotimaisen soran ja hiekan, sora- ja kalliomurskeen sekä saven määrä; **Fossiiliset polttoaineet:** öljyn, kivihiilen ja koksen kokonaiskulutus, turpeen nosto; **Puuaines:** kotimaiset nettohakkuiden ja tuontipuun määrä; **Viljellyt:** peltoviljojen ja muiden viljelykasvien sadon määrä, puutarhatuotanto; **Muut:** metallien tuonti, metsien sivutuotteet ja kalastuksen saalis

**Liite 4 Suorat panokset 1970–1999 (miljoonaa tonnia) (Mäenpää ym. 2000, TMRFIN1.2)**

	Maatalous, kalastus	Metsätalous	Mineraalit	Rakentamisen maa-ainekset	Jalosteiden tuonti	Yhteensä
1970	9,9	44,6	22,8	95,3	8,2	180,9
1971	9,8	43,8	21,7	101,5	7,7	184,6
1972	10,1	43,5	21,9	113,1	8,4	196,9
1973	9,8	45,3	23,4	107,8	9,7	195,9
1974	9,7	43,3	25,4	95,9	10,4	184,7
1975	10,5	34,4	25,7	95,4	9,0	175,0
1976	11,6	34,4	26,5	88,7	8,4	169,5
1977	10,5	35,6	28,4	84,5	8,1	167,1
1978	11,5	38,8	29,3	78,8	7,7	166,1
1979	12,4	46,1	32,2	84,3	8,8	183,9
1980	12,6	47,6	34,6	87,1	9,6	191,5
1981	10,8	45,4	31,6	88,1	9,2	185,1
1982	13,1	43,5	35,0	92,6	9,7	194,0
1983	13,4	42,5	32,9	95,8	10,5	195,0
1984	12,9	44,8	31,5	92,7	10,3	192,2
1985	12,8	45,7	33,9	91,4	10,6	194,4
1986	13,1	40,9	37,4	101,2	11,4	203,9
1987	9,5	44,8	35,0	101,3	12,3	202,9
1988	12,1	47,5	35,0	102,6	11,2	208,4
1989	13,9	49,2	37,7	111,7	12,7	225,2
1990	13,8	45,9	38,6	112,4	11,8	222,5
1991	12,7	37,4	34,0	99,4	10,2	193,7
1992	11,9	43,0	35,1	90,2	11,9	192,1
1993	13,7	45,4	34,3	76,3	12,3	182,0
1994	13,0	52,7	43,6	81,4	15,2	205,8
1995	14,2	57,0	38,5	78,6	13,6	201,8
1996	13,8	50,6	40,3	72,9	14,9	192,5
1997	14,2	53,3	44,9	78,4	15,3	206,2
1998	14,4	57,1	37,0	84,4	15,4	208,3
1999	15,8	59,6	40,9	92,2	15,3	223,9

**kasvit ja luonnoneläimet:** viljeltyt kasvit, luonnonkasvit, eläintuotteet, kalat (maatalous, metsästys ja kalastus)

**puu:** metsästä tuotu puuaines (tukkipuu, kuitupuu, polttopuu)

**mineraalit:** energiamineraalit, metallirikasteet, teollisuusmineraalit, rakennuskivet; kaivualueelta jatkokäyttöön viedyt ainesmäärät

**rakentamisen maa-ainekset:** metsien ojitus, metsäteiden rakentaminen, sora, murske, hiekka, muut maa-ainekset, betonin ja tiilien valmistukseen käytetyt maa-ainekset

**tuontijalosteet:** maan rajan ylittävät tuonnin ainesmäärät, jalosteet oma erillisryhmä; elintarvikkeet, puutuotteet, energiatuotteet, kemikaalit, mineraalituotteet, perusmetallit, metallituotteet, muut

**Liite 5 Piilovirrat 1970–1999 (miljoonaa tonnia) (Mäenpää ym. 2000, TMRFIN1.2)**

	<b>Maatalous, kalastus</b>	<b>Metsätalous</b>	<b>Mineraalit</b>	<b>Rakentamisen maa-ainekset</b>	<b>Jalosteiden tuonti</b>	<b>Yhteensä</b>
<b>1970</b>	9,1	20,0	17,4	47,4	39,2	<b>133,1</b>
<b>1971</b>	7,1	19,7	19,0	49,8	36,9	<b>132,5</b>
<b>1972</b>	7,8	19,5	20,0	50,7	38,0	<b>135,9</b>
<b>1973</b>	7,8	20,7	23,0	49,7	42,8	<b>144,0</b>
<b>1974</b>	8,8	19,9	29,8	47,2	47,0	<b>152,7</b>
<b>1975</b>	8,7	15,8	25,9	45,5	44,5	<b>140,5</b>
<b>1976</b>	8,2	15,9	23,2	44,0	42,3	<b>133,6</b>
<b>1977</b>	7,2	16,4	28,8	44,0	39,1	<b>135,5</b>
<b>1978</b>	7,6	17,7	30,3	43,2	43,0	<b>141,8</b>
<b>1979</b>	8,7	21,0	37,5	45,3	49,3	<b>161,8</b>
<b>1980</b>	8,8	21,7	42,5	44,9	57,3	<b>175,3</b>
<b>1981</b>	8,8	20,5	44,8	46,2	53,8	<b>174,1</b>
<b>1982</b>	10,4	19,8	51,9	47,4	55,1	<b>184,7</b>
<b>1983</b>	7,9	19,5	51,2	49,0	56,0	<b>183,6</b>
<b>1984</b>	7,5	20,8	56,3	48,4	55,9	<b>188,9</b>
<b>1985</b>	7,6	21,1	65,1	47,5	59,2	<b>200,5</b>
<b>1986</b>	7,7	18,9	72,1	51,4	59,8	<b>209,9</b>
<b>1987</b>	8,5	20,7	75,7	52,0	68,1	<b>225,0</b>
<b>1988</b>	8,5	21,9	74,5	50,6	67,9	<b>223,4</b>
<b>1989</b>	8,2	22,6	77,0	54,8	80,9	<b>243,5</b>
<b>1990</b>	7,7	21,2	81,7	54,3	75,0	<b>239,8</b>
<b>1991</b>	7,0	17,4	83,1	43,8	61,3	<b>212,6</b>
<b>1992</b>	7,4	19,9	82,3	40,3	63,2	<b>213,1</b>
<b>1993</b>	7,8	21,0	84,3	34,8	65,3	<b>213,2</b>
<b>1994</b>	8,0	24,8	94,6	34,2	81,8	<b>243,3</b>
<b>1995</b>	8,0	26,8	96,5	34,5	84,2	<b>250,0</b>
<b>1996</b>	8,6	23,8	112,7	34,6	84,7	<b>264,4</b>
<b>1997</b>	8,8	25,1	114,6	33,8	87,5	<b>269,8</b>
<b>1998</b>	9,5	26,6	117,3	36,3	94,7	<b>284,4</b>
<b>1999</b>	9,7	28,0	112,9	39,7	94,2	<b>284,5</b>



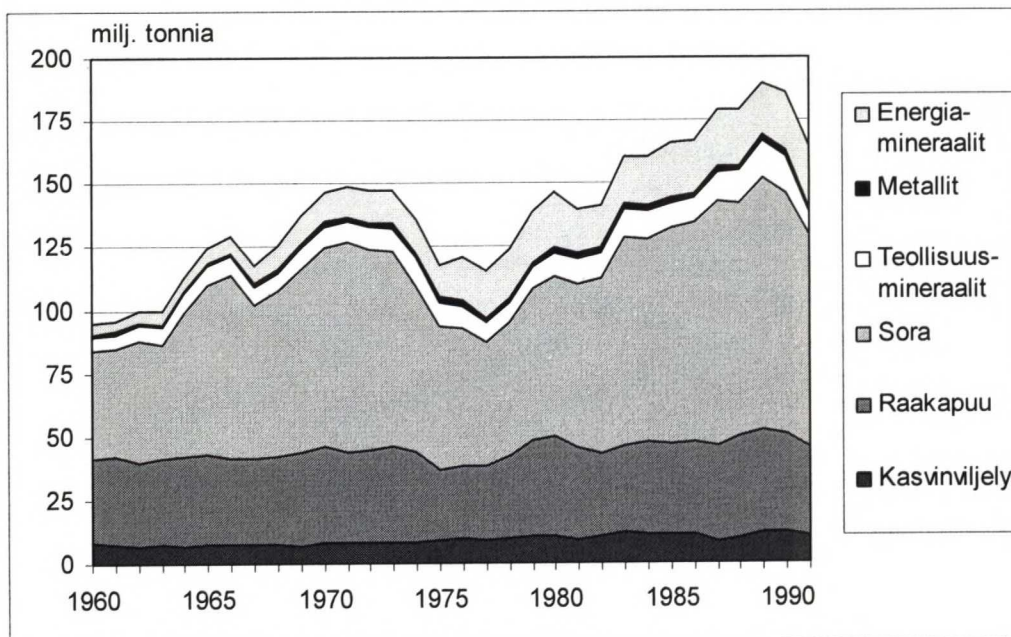
**Liite 6 Luonnonvarojen kokonaiskäyttö 1970–1999 (miljoonaa tonnia) (Mäenpää ym. 2000, TMRFIN1.2)**

	<b>Maatalous, kalastus</b>	<b>Metsätalous</b>	<b>Mineraalit</b>	<b>Rakentamisen maa-ainekset</b>	<b>Jalosteiden tuonti</b>	<b>Luonnonvarojen kokonaiskäyttö</b>
<b>1970</b>	19,0	64,5	40,3	142,7	47,5	<b>314,0</b>
<b>1971</b>	16,9	63,5	40,7	151,4	44,6	<b>317,1</b>
<b>1972</b>	17,9	63,0	41,8	163,7	46,4	<b>332,9</b>
<b>1973</b>	17,6	66,0	46,4	157,4	52,5	<b>339,9</b>
<b>1974</b>	18,5	63,2	55,2	143,1	57,5	<b>337,5</b>
<b>1975</b>	19,2	50,3	51,6	140,9	53,5	<b>315,5</b>
<b>1976</b>	19,8	50,2	49,7	132,7	50,7	<b>303,1</b>
<b>1977</b>	17,7	52,0	57,2	128,5	47,3	<b>302,7</b>
<b>1978</b>	19,1	56,5	59,6	122,0	50,7	<b>307,9</b>
<b>1979</b>	21,1	67,1	69,8	129,6	58,1	<b>345,7</b>
<b>1980</b>	21,4	69,3	77,1	132,0	66,9	<b>366,7</b>
<b>1981</b>	19,6	65,9	76,4	134,3	63,0	<b>359,2</b>
<b>1982</b>	23,5	63,3	86,9	140,0	64,8	<b>378,7</b>
<b>1983</b>	21,3	62,0	84,1	144,7	66,5	<b>378,6</b>
<b>1984</b>	20,4	65,6	87,9	141,1	66,1	<b>381,1</b>
<b>1985</b>	20,4	66,7	99,1	138,9	69,8	<b>394,8</b>
<b>1986</b>	20,8	59,8	109,5	152,6	71,2	<b>413,8</b>
<b>1987</b>	18,0	65,5	110,7	153,3	80,4	<b>427,9</b>
<b>1988</b>	20,5	69,4	109,5	153,2	79,1	<b>431,8</b>
<b>1989</b>	22,1	71,9	114,7	166,5	93,6	<b>468,7</b>
<b>1990</b>	21,5	67,1	120,3	166,7	86,8	<b>462,4</b>
<b>1991</b>	19,7	54,8	117,0	143,2	71,5	<b>406,3</b>
<b>1992</b>	19,3	62,9	117,4	130,5	75,1	<b>405,3</b>
<b>1993</b>	21,4	66,4	118,6	111,2	77,7	<b>395,2</b>
<b>1994</b>	21,0	77,5	138,1	115,6	96,9	<b>449,1</b>
<b>1995</b>	22,2	83,8	135,0	113,1	97,7	<b>451,8</b>
<b>1996</b>	22,4	74,4	153,0	107,5	99,6	<b>457,0</b>
<b>1997</b>	23,1	78,5	159,5	112,2	102,8	<b>476,1</b>
<b>1998</b>	23,9	83,7	154,3	120,6	110,1	<b>492,7</b>
<b>1999</b>	25,5	87,6	153,9	131,9	109,5	<b>508,4</b>

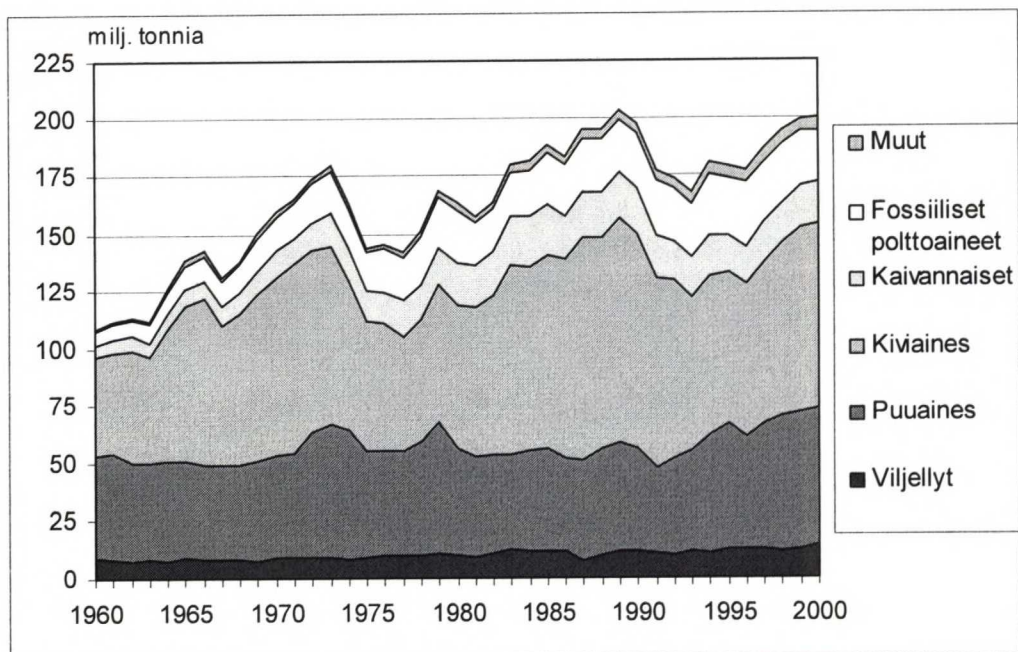
**Liite 7 Materiaalien käyttö 1980–2004 (miljoonaa tonnia) (Tilastokeskus 2005, 60)**

	<b>Materiaalien käyttö</b>
<b>1980</b>	164
<b>1981</b>	158
<b>1982</b>	164
<b>1983</b>	179
<b>1984</b>	181
<b>1985</b>	188
<b>1986</b>	183
<b>1987</b>	195
<b>1988</b>	195
<b>1989</b>	219
<b>1990</b>	210
<b>1991</b>	188
<b>1992</b>	183
<b>1993</b>	175
<b>1994</b>	187
<b>1995</b>	188
<b>1996</b>	184
<b>1997</b>	194
<b>1998</b>	204
<b>1999</b>	210
<b>2000</b>	210
<b>2001</b>	211
<b>2002</b>	214
<b>2003</b>	223
<b>2004</b>	221

## Liite 8 Materiaalien käytön rakenne



Kuvio 27 Materiaalien käyttö 1960–1991 (Tiedot: Laine 1994)



Kuvio 28 Primäärimateriaalien kokonaiskulutus 1960–2000 (Tiedot: Hoffrén 2001)